

TUGAS AKHIR - TE 141599

STUDI PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED GENERATION* UNTUK  
MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT.PLN  
RANTING DOLOK SANGGUL MENGGUNAKAN METODE *GENETIC  
ALGORITHM* (GA)

Velix Setiawan Sirait  
NRP 07111340000110

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.  
Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE141599**

**STUDI PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED GENERATION*  
UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN  
DISTRIBUSI PT.PLN RANTING DOLOK SANGGUL  
MENGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM* (GA)**

Velix Setiawan Sirait

NRP 07111340000110

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

Fakultas Teknologi Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE141599**

**STUDY OF DISTRIBUTED GENERATION PLACEMENT TO  
MINIMIZE POWER LOSS AT PT. PLN RANTING DOLOK  
SANGGUL POWER SYSTEM DISTRIBUTION USING GENETIC  
ALGORITHM (GA) OPTIMIZATION**

Velix Setiawan Sirait

NRP 07111340000110

Counsellor Lecturer

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

Faculty of Electrical Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2018

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “STUDI PENENTUAN LOKASI DISTRIBUTED GENERATION UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT. PLN RANTING DOLOK SANGGUL MENGGUNAKAN METODE GENETIC ALGORITHM (GA)” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2018

Velix Setiawan Sirait  
NRP. 07111340000110



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**STUDI PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED GENERATION*  
UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA PADA JARINGAN  
DISTRIBUSI PT. PLN RANTING DOLOK SANGGUL  
MENGUNAKAN METODE *GENETIC ALGORITHM* (GA)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Soedibyo, M.M.T.  
NIP. 195512071980031004**

**Ir. Arif Musthofa, MT.  
NIP. 196608111992031004**



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**STUDI PENENTUAN LOKASI *DISTRIBUTED*  
GENERATION UNTUK MENGURANGI RUGI DAYA  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI PT.PLN RANTING  
DOLOK SANGGUL MENGGUNAKAN METODE  
*GENETIC ALGORITHM* (GA)**

Nama : Velix Setiawan Sirait  
NRP : 07111340000110  
Pembimbing I : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.  
NIP : 195512071980031004  
Pembimbing II : Ir. Arif Musthofa, MT.  
NIP : 196608111992031004

**ABSTRAK**

Pada studi ini, dilakukan simulasi pemasangan *distributed generation* (DG) pada jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul sebagai salah satu cara untuk mengurangi rugi daya pada saluran distribusi. Penentuan lokasi dan ukuran DG dilakukan menggunakan teknik optimasi algoritma genetika (GA) yang bertujuan untuk mengurangi rugi daya sistem. Simulasi dilakukan dalam tiga tahap. Pertama simulasi jaringan tanpa dihubungkan dengan DG. Rugi daya yang didapatkan sebesar 67,64 kW. Sementara untuk profil tegangan mengalami undervoltage dari bus 2 sampai bus 73. Kedua simulasi jaringan dengan ditambahkan PLTMH Aek Silang kapasitas 750 kW pada bus 3 jaringan. Penambahan PLTMH mengurangi rugi daya menjadi 12,08 kW. Ketiga dilakukan penambahan PV *array* di dua lokasi bus pada jaringan distribusi tersebut. Lokasi dan kapasitas PV dicari menggunakan teknik optimasi algoritma genetika (GA). Hasil pencarian menunjukkan PV *array* dihubungkan pada bus 10 dengan kapasitas 177,8 kW dan bus 19 dengan kapasitas 317,5 kW. Penambahan PV pada jaringan mengurangi rugi daya menjadi 3,1812 kW.

**Kata Kunci:** *Algoritma Genetika, Distributed Generation, Sistem Distribusi Radial.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**STUDY OF DISTRIBUTED GENERATION PLACEMENT  
TO MINIMIZE POWER LOSS AT PT. PLN RANTING  
DOLOK SANGGUL POWER SYSTEM DISTRIBUTION  
USING GENETIC ALGORITHM (GA) OPTIMIZATION**

Name : Velix Setiawan Sirait  
NRP : 07111340000110  
Advisor I : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.  
NIP : 195512071980031004  
Advisor II : Ir. Arif Musthofa, MT.  
NIP : 196608111992031004

**ABSTRACT**

*In this study, the installation of distributed generation (DG) on TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul 20 kV distribution networks performed as one way to reduce power losses in the distribution channel. Determining the location and size of the DG performed using a genetic algorithm optimization technique (GA), which aims to reduce system power loss. The simulation is done in three stages. First the network simulation without being connected with DG. The power loss is 67,64 kW. As for the voltage profile undervoltage from bus 2 to bus 73. Second, the network simulation with added AEK Silang PLTMH capacity 750 kW on bus 3 network. The addition of PLTMH reduces power loss to 12.08 kW. Third is the addition of PV arrays at two bus locations on the distribution network. The location and capacity of PV was sought using genetic algorithm optimization (GA). The search results show PV arrays connected on bus 10 with a capacity of 177,8 kW and bus 19 with a capacity of 317,5 kW. Adding PV to the network reduces power loss to 3,1812 kW.*

**Keywords:** Genetic Algorithm, Distributed Generation, Radial Distribution System.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan YME atas karunia-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul “Studi Penentuan Lokasi *Distributed Generation* Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi PT. PLN Ranting Dolok Sanggul Menggunakan Metode *Genetic Algorithm* (GA)” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami berbagai kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, doa, dan bantuan dari berbagai pihak sehingga semua kendala yang ada dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta yang selalu ada, Ayahanda, Ibunda, adik, dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa terbaik.
2. Bapak Dr. Ir. Soediby, M.MT. dan Bapak Ir. Arif Musthofa, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir.
3. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Departemen Teknik Elektro ITS.
4. Keluarga besar E53 *Unpredictable*.
5. Sahabat seperjuangan di kala suka maupun duka di Surabaya.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan tugas akhir ini ke depannya dari semua pihak.

Surabaya, Januari 2018

Velix Setiawan Sirait

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
 <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	4
 <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	 5
2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Sistem Distribusi Listrik .....	6
2.3 Jaringan Sistem Distribusi Radial .....	7
2.4 <i>Distributed Generation</i> (DG).....	8
2.4.1 Dampak DG pada Jaringan Distribusi Radial .....	10
2.4.2 Pemodelan DG sebagai <i>Negative PQ Load</i> .....	11
2.4.3 Pemodelan DG sebagai <i>PV Model</i> .....	12
2.5 Algoritma Genetika .....	13
2.5.1 Komponen-komponen Algoritma Genetika .....	13
2.5.2 Parameter <i>Genetich Algorithm</i> .....	15
2.5.3 Proses <i>Genetich Algorithm</i> .....	16

<b>BAB 3</b>	<b>PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI DAN PENAMBAHAN <i>DISTRIBUTED GENERATION</i></b>	17
3.1	Diagram Alur Penelitian	17
3.2	Sistem Distribusi TL2DS2 Dolok Sanggul	19
3.3	Aliran Daya	24
3.3.1	<i>Flowchart</i> Metode <i>Backward-Forward Sweep</i>	26
3.4	Fungsi Objektif dan <i>Constraint</i> untuk Penempatan DG	28
3.5	Penentuan Lokasi dan Ukuran DG Menggunakan GA	30
3.5.1	Pembacaan Awal Data Saluran dan Data Beban	30
3.5.2	Pembangkitan Populasi	31
3.5.3	Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG	31
3.5.4	<i>Decode</i> Kromosom	31
3.5.5	Evaluasi <i>Fitness</i>	32
3.5.6	Seleksi Induk atau Orang Tua	33
3.5.7	<i>Cross Over</i>	33
3.5.8	Mutasi	34
3.5.9	<i>Elitism</i>	34
3.6	Komponen dan Parameter Algoritma Genetika	34
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN ANALISA</b>	37
4.1	Simulasi dan Analisa Penyulang 20 kV TL2DS2 Tanpa DG	37
4.2	Integrasi PLTMH Aek Silang pada Sistem	42
4.3	Integrasi PLTMH Aek Silang dan <i>Photovoltaic</i> (PV) pada Sistem	46
4.3.1	Seleksi Parameter Algoritma Genetika	46
4.3.2	Penentuan Lokasi dan Ukuran <i>Photovoltaic Array</i>	48
4.4	Aliran Daya Sebelum dan Sesudah Dipasang DG (PLTMH dan PV Array)	52
4.5	Validasi Perhitungan Menggunakan ETAP 12.6	58
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	65
	<b>LAMPIRAN</b>	67
	<b>RIWAYAT PENULIS</b>	69

# TABLE OF CONTENTS

	PAGE
<b>TITLE</b>	
<b>VALIDITY SHEET</b>	
<b>ABSTRACT (IND)</b> .....	i
<b>ABSTRACT (ENG)</b> .....	iii
<b>PREFACE</b> .....	v
<b>TABLE OF CONTENTS (IND)</b> .....	vii
<b>TABLE OF CONTENTS (ENG)</b> .....	ix
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	xi
<b>LIST OF TABLES</b> .....	xi
 <b>CHAPTER I INTRODUCTION</b> .....	 1
1.8 Background .....	1
1.9 Problems .....	2
1.10 Objective.....	2
1.11 Limitation Problem .....	2
1.12 Methodology.....	2
1.13 Systematics Writing.....	3
1.14 Relevance.....	4
 <b>CHAPTER 2 LITERATUR REVIEW</b> .....	 5
2.6 Power System .....	5
2.7 Electrical Distribution System .....	6
2.8 Network of Radial Distribution System.....	7
2.9 Distributed Generation (DG) .....	8
2.4.1 Impact of DG on Radial Distribution Network .....	10
2.4.2 DG Modelling as Negative PQ Load .....	11
2.4.3 DG Modeling as PV Model.....	12
2.10 Genetich Algorithm .....	13
2.5.1 Genetich Algorithm Components .....	13
2.5.2 Genetich Algorithm Parameters.....	15
2.5.3 Genetich Algorithm Process .....	16

<b>CHAPTER III MODELING OF DISTRIBUTION SYSTEM AND DISTRIBUTED GENERATION .....</b>	<b>17</b>
3.6 Research Flow Diagram .....	17
3.7 Distribution System TL2DS2 Dolok Sanggul .....	19
3.8 Power Flow .....	24
3.3.1 Backward-Forward Sweep Load Flow Method .....	26
3.9 Objective and <i>Constraint</i> Functions for DG Placement .....	28
3.10 Locations Determination and DG Size Using GA .....	30
3.10.1 Reading of Channel Data and Load Data .....	30
3.10.2 Population Generation .....	31
3.10.3 Chromosome Configuration Site Determination and DG Capacity .....	31
3.10.4 Decode Chromosome.....	31
3.10.5 Fitness Evaluation.....	32
3.10.6 Parents Selection.....	33
3.10.7 Crossover .....	33
3.10.8 Mutation .....	34
3.10.9 Elitism.....	34
3.6 Components and Parameters of Genetich Algorithm .....	34
<b>CHAPTER IV RESULTS AND ANALYSIS .....</b>	<b>37</b>
4.6 Simulation and Analyzer Distribution System TL2DS2 Without DG .....	37
4.7 Integration of PLTMH Aek Silang on System .....	42
4.8 Integration of PLTMH Aek Silang and Photovoltaic (PV) on System.....	46
4.3.1 Selection of Genetich Algorithm Parameters .....	46
4.3.2 Determination of Locations and Size of Photovoltaic Array .....	48
4.9 Power Flow Before and After Installed DG (PLTMH and PV Array) .....	52
4.10 Result Validation Using ETAP 12.6.....	58
<b>CHAPTER V CONCLUSIONS AND SUGGESTS .....</b>	<b>63</b>
5.3 Conclusion.....	63
5.4 Suggestion .....	63
<b>REFERENCES .....</b>	<b>65</b>

**APPENDIX ..... 67**  
**AUTHOR HISTORY ..... 69**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema umum sistem tenaga listrik .....	6
Gambar 2.2 Jaringan distribusi radial.....	8
Gambar 2.3 Perbandingan aliran daya saat DG dikoneksikan di bus yang berbeda.....	11
Gambar 2.4 Pemodelan DG sebagai <i>negative PQ load</i> .....	12
Gambar 3.1 Flowchart simulasi awal .....	17
Gambar 3.2 Flowchart optimasi dengan menggunakan GA.....	19
Gambar 3.3 Single line diagram penyulang 20 kV TL2DS2.....	20
Gambar 3.4 Contoh jaringan distribusi radial .....	24
Gambar 3.5 Flowchart <i>Backward-Forward Sweep</i> .....	26
Gambar 3.6 Diagram alir optimasi menggunakan GA .....	30
Gambar 3.7 Kromosom penentuan lokasi dan kapasitas DG .....	31
Gambar 3.8 Decode atau penerjemahan kromosom.....	32
Gambar 3.9 Mekanisme <i>crossover</i> satu titik .....	33
Gambar 3.10 Mekanisme mutasi dalam pengkodean biner.....	34
Gambar 4.1 Profil tegangan bus TL2DS2 tanpa DG .....	39
Gambar 4.2 Profil tegangan bus sebelum dan sesudah dipasang PLTMH.....	43
Gambar 4.3 Profil tegangan bus sebelum dan sesudah dipasang PV <i>array</i> .....	50
Gambar 4.4 Profil tegangan bus sebelum dan sesudah dipasang PLTMH dan PV <i>array</i> .....	55

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan..... 9
Tabel 3.1	Data penyulang 20 kV TL2DS2 ..... 21
Tabel 3.2	Data pembebanan penyulang TL2DS2..... 23
Tabel 4.1	Profil tegangan bus tanpa DG ..... 38
Tabel 4.2	Hasil load flow sebelum dipasang DG ..... 39
Tabel 4.3	Profil tegangan bus setelah pemasangan PLTMH Aek Silang..... 42
Tabel 4.4	Hasil load flow setelah pemasangan PLTMH Aek Silang 43
Tabel 4.5	Variasi Parameter GA ..... 47
Tabel 4.6	Solusi optimasi algoritma genetika ..... 48
Tabel 4.7	Profil tegangan setelah penambahan PLTMH dan PV ..... 48
Tabel 4.8	Hasil load flow setelah pemasangan PLTMH dan PV ..... 50
Tabel 4.9	Lokasi dan kapasitas PLTMH dan PV ..... 53
Tabel 4.10	Tegangan sebelum dan sesudah pemasangan PLTMH dan PV ..... 53
Tabel 4.11	Rugi daya sebelum dan sesudah dipasang PLTMH dan PV ..... 55
Tabel 4.12	Validasi aliran daya tanpa DG..... 58
Tabel 4.13	Validasi profil tegangan tanpa DG ..... 60

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Seiring berjalannya waktu, kebutuhan listrik masyarakat terus meningkat. Pemerintah Indonesia sendiri telah merencanakan penambahan kapasitas pembangkit sebesar 35000 MW hingga tahun 2019. Hal tersebut dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang meningkat setiap tahun.

Menurut Kebijakan Energi Nasional, PP No.79 tahun 2014, pada tahun 2025 pemerintah menargetkan minimal 23% sumber tenaga listrik di Indonesia berasal dari energi baru dan terbarukan(EBT). Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) tahun 2016, tentang porsi pemanfaatan EBT, menarget 10,4% sementara pencapaian hanya 7,7%. Sementara itu di dalam RUPTL PLN, Sumatera Utara direncanakan menghasilkan energi listrik sebesar 40 MW dari energi surya pada tahun 2025.

Pembangkit listrik konvensional memiliki kelemahan yaitu biaya pembangkitan yang besar serta tidak ramah lingkungan karena masih menggunakan energi fosil. Pembangkit konvensional biasanya menyediakan kapasitas daya yang besar dan jauh dari pusat beban sehingga dibutuhkan saluran yang panjang untuk menyalurkan listrik ke beban. Hal tersebut menyebabkan rugi daya terjadi pada saluran. Rugi daya pada saluran distribusi dapat mencapai 10 – 13 % dari daya yang dibangkitkan[15].

Untuk itu pembangkit listrik yang tersebar atau sering disebut *Distributed Generation* (DG) dapat menjadi solusi yang tepat dibandingkan pembangkit listrik konvensional. DG merupakan pembangkit yang memprioritaskan EBT sebagai energi pembangkitnya. DG umumnya berkapasitas kecil dan dipasang secara tersebar pada jaringan distribusi. Pada tugas akhir ini studi pemasangan DG akan dilakukan pada jaringan distribusi penyulang TL2DS2 20 kV Ranting Dolok Sanggul yang terletak di Sumatera Utara. Pemasangan DG pada jaringan tersebut bertujuan untuk mengurangi nilai rugi daya sistem. Pada tugas akhir ini juga dibahas bagaimana penentuan titik integrasi serta kapasitas DG dengan metode Algoritma Genetika (GA) untuk mempermudah setiap orang dalam penentuan lokasi DG pada jaringan.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan, yaitu:

1. Bagaimana memodelkan sistem distribusi penyulang TL2DS2.
2. Bagaimana pengaruh penambahan DG terhadap rugi-rugi daya dan profil tegangan pada penyulang TL2DS2.
3. Bagaimana mencari lokasi dan kapasitas DG terbaik untuk menekan rugi daya pada jaringan distribusi penyulang TL2DS2.

## 1.3 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Penerapan metode GA dalam menentukan lokasi dan kapasitas DG untuk menekan rugi daya pada jaringan distribusi radial.
2. Pemodelan program dan perancangan perangkat lunak berbasis Matlab dengan GA untuk mengurangi rugi daya pada sistem distribusi radial tiga fasa.
3. Mendapatkan hasil optimasi terhadap lokasi dan kapasitas DG untuk mencapai rugi daya paling minimum pada jaringan distribusi 20 KV.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Fungsi objektif dari optimasi adalah fungsi untuk minimalisasi rugi daya nyata.
2. Penentuan lokasi dan kapasitas DG menggunakan metode algoritma genetika (GA).
3. Menggunakan jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul.
4. DG yang dioptimasi dengan GA berjumlah dua DG berupa sistem *photovoltaic*.
5. Sistem *photovoltaic* dimodelkan sebagai *negative PQ load*, dimana PQ generator berfungsi untuk menyuntikkan daya aktif ke jaringan dengan kapasitas tetap.

6. Simulasi dengan sistem distribusi radial tiga fasa seimbang ( $R=S=T$ ).

## 1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur  
Mempelajari studi analisa aliran daya jaringan distribusi radial yaitu metode GA, serta mempelajari perancangan program atau pengkodean untuk mengimplementasikan GA pada *software* MATLAB R2014a.
2. Pengambilan data  
Data yang dikumpulkan meliputi *single line diagram* jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul, data peralatan, serta data beban.
3. Pemodelan program  
Pemodelan program dilakukan untuk mendapatkan model program studi kasus peletakan DG. Maksud dari pemodelan yaitu mengetahui hasil aliran daya serta menentukan lokasi penempatan DG. Perancangan perangkat lunak menggunakan MATLAB dengan algoritma genetika untuk memperoleh lokasi DG.
4. Simulasi dan analisa  
Simulasi dan analisa meliputi optimasi dengan menambahkan PV *array* yang bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya. Penentuan letak dan kapasitas menggunakan metode Algoritma Genetika.
5. Penyusunan buku tugas akhir  
Penulisan hasil penelitian ini merupakan kesimpulan dari alur metodologi yang telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian ini merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga terdapat saran yang nantinya digunakan sebagai masukan dengan apa yang telah dilakukan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri atas lima bagian dan masing-masing bab akan terursi sebagai berikut:

1. Bab 1 merupakan pendahuluan yang membahas latar belakang penelitian, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan dan relevansi.
2. Bab 2 menjelaskan dasar teori yang membahas tentang sistem distribusi, *distributed generation (DG)*, dan penempatan DG pada jaringan distribusi dengan menggunakan GA.
3. Bab 3 berisi tentang metode penelitian, pemodelan sistem, dan proses simulasi.
4. Bab 4 berisi hasil percobaan yang telah dilakukan. Data hasil simulasi diolah dan dianalisa sehingga dapat ditarik kesimpulan.
5. Bab 5 berisi kesimpulan dan saran.

## **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat menunjukkan pengaruh penambahan DG pada profil tegangan dan rugi daya pada jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

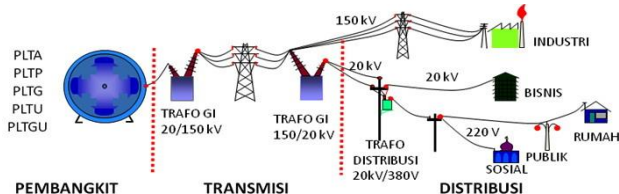
#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Sistem tenaga listrik meliputi pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Pada sistem pembangkit tenaga listrik ada beberapa jenis sumber energi yang digunakan seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, dan batu bara), hidro, panas bumi, dan nuklir. Bahan bakar tersebut dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik. Energi listrik dihasilkan dengan mengubah energi mekanis oleh generator sinkron dan selanjutnya dikirim melalui saluran menuju gardu transmisi. Dengan bantuan trafo step up tegangan listrik dinaikkan agar jumlah arus yang ada pada saluran transmisi bernilai kecil. Hal ini berpengaruh untuk mengurangi rugi-rugi panas yang akan terjadi pada saluran. Listrik dari saluran transmisi tersebut selanjutnya disalurkan menuju sistem distribusi. Pada sistem distribusi listrik akan dialirkan ke pusat-pusat beban. Oleh karena itu tegangan listrik yang disalurkan pada saluran distribusi akan diturunkan lebih dahulu tegangannya oleh trafo step down. Di bagian pusat beban, energi listrik akan bermanfaat untuk keperluan sehari-hari dengan mengubah energi listrik kembali menjadi berbagai bentuk energi untuk berbagai keperluan.

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting untuk semua orang. Listrik dapat menjadi salah satu indikator yang tepat untuk mengukur kemajuan sebuah negara. Jika kebutuhan listrik sebuah negara sudah terpenuhi secara keseluruhan maka dapat dikatakan negara tersebut adalah negara maju. Peningkatan penduduk, kemajuan teknologi, serta persaingan antar negara mengharuskan sebuah negara untuk merencanakan pembangunan pembangkit listrik baru untuk waktu yang akan datang. Pembangkit listrik itu sendiri dapat berupa pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), dan lain-lain. Pembangunan pembangkit listrik biasanya ditempatkan jauh dari lingkungan masyarakat. Hal ini dilakukan untuk menghindari dampak buruk pembangkit bagi lingkungan masyarakat. Oleh karena itu, saluran yang dapat mengirim listrik juga perlu dibangun dari pembangkit sampai ke pusat beban.

Jarak pembangkit sampai ke konsumen yang jauh menyebabkan banyak kerugian dari segi efisiensi daya hingga biaya pembangunan. Hal tersebut juga menyebabkan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Sehingga tegangan dari generator pembangkit sebelum disalurkan akan dinaikkan level tegangannya dengan bantuan trafo untuk memperbesar daya dan mengurangi rugi-rugi saluran. Daya listrik yang besar dapat merusak saluran, sehingga dibutuhkan isolasi yang kuat untuk saluran tersebut. Hal ini juga merupakan penyebab mahalnya pembangunan saluran listrik.

Listrik dari pembangkit biasanya menghasilkan tegangan 11 kV sampai 24 kV. Sebelum masuk ke saluran transmisi tegangan dinaikkan dari 30 kV sampai 500 kV dengan menggunakan transformator step up. Selanjutnya tegangan di saluran transmisi disalurkan menuju gardu induk step down. Tegangan pun diturunkan dari 500 kV ke 150 kV, 150 kV ke 70 kV, sesuai tegangan saluran transmisinya. Penurunan tegangan tahap pertama dilakukan untuk persiapan memasuki gardu distribusi. Setelah itu, listrik memasuki gardu distribusi primer dan mengalami penurunan tegangan kembali dari 150 kV menjadi 20 kV atau dari 70 kV ke 20 kV. Jaringan listrik tegangan 20 kV tersebut merupakan sistem distribusi primer, dimana tegangan tersebut akan dipakai oleh industri atau diturunkan lagi menjadi tegangan yang lebih rendah 380 V antara fasa dan 220 V diantara masing-masing fasa dengan tanah untuk pemakaian beban rumah tangga dan industri kecil lainnya. Skema umum sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Skema umum sistem tenaga listrik

## 2.2 Sistem Distibusi Listrik

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang membagi atau menyalurkan tenaga listrik ke pelanggan. Jaringan distribusi meliputi semua jaringan tegangan menengah 20 kV dan semua jaringan tegangan rendah 220/380 V sampai pelanggan. Tegangan sistem

distribusi 20 kV biasa disebut distribusi primer dan tegangan distribusi 220/380 V disebut sebagai distribusi sekunder. Pendistribusian tenaga listrik dilakukan dengan menghantarkan listrik dari gardu sampai pusat beban. Pada tempat-tempat tertentu gardu-gardu distribusi dibangun dimana tegangan 20 kV diturunkan menjadi tegangan 220/380 V. Selanjutnya listrik akan dialirkan lewat kabel-kabel tegangan rendah ke semua konsumen.

Pada umumnya sistem distribusi di Indonesia bertipe radial. Hal ini berguna untuk koordinasi proteksi yang lebih mudah dan mengurangi resiko arus hubung singkat. Berdasarkan ukuran tegangan jaringan distribusi dibagi sebagai berikut:

1. Sistem distribusi primer

Jaringan distribusi primer terletak antara titik sekunder trafo gardu induk dengan titik primer trafo distribusi. Jaringan distribusi primer memiliki tegangan menengah 20 kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV bisa disebut jaringan distribusi apabila langsung melayani pelanggan.

2. Sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi sekunder sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah. Sistem distribusi sekunder berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari sisi sekunder trafo distribusi sampai ke pelanggan. Standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder adalah 220/380 V dan 440/550 V khusus pelanggan industri.

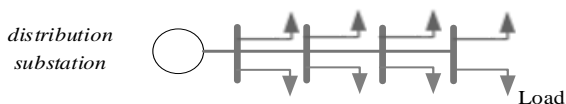
Jatuh tegangan disebabkan oleh perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Sehingga pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan. Jatuh tegangan yang diijinkan tidak boleh lebih dari 5%. Secara umum  $\Delta V$  dibatasi sampai dengan 3,5%. Sehingga, dengan pembatasan ini diharapkan stabilitas penyaluran daya ke pusat-pusat beban tidak terganggu [3].

## **2.3 Jaringan Sistem Distribusi Radial**

Menurut susunan rangkaiannya sistem distribusi dibagi beberapa macam. Pada tugas akhir ini studi pemasangan DG dilakukan pada jaringan distribusi radial. Jaringan distribusi radial memiliki bentuk

konfigurasi paling sederhana. Sistem distribusi radial memiliki bentuk yang mirip seperti cabang pohon dengan jalur utama yang terhubung ke rangkaian yang lebih kecil yaitu menuju beban. Sistem ini memiliki beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi. Gardu distribusi tersebut adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang.

Sistem distribusi radial memiliki kekurangan yaitu kualitas pelayanan daya yang kurang baik dibandingkan dengan bentuk konfigurasi lainnya. Hal itu disebabkan besarnya rugi daya dan drop tegangan dan kontinuitas sistem yang kurang handal. Kontinuitas yang kurang handal disebabkan hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi. Sehingga apabila terjadi gangguan pada sebuah titik saluran, maka saluran setelah gangguan akan mengalami pemadaman total selama belum dilakukan penanganan. Berikut merupakan contoh gambar dari jaringan distribusi radial:



**Gambar 2.2** Jaringan distribusi radial

Dari gambar 2.2 dapat dilihat hanya terdapat satu sumber yang menyuplai sistem, sehingga mengakibatkan arus yang mengalir pada setiap saluran menuju beban menjadi tidak sama. Hal tersebut mengakibatkan luas penampang kabel saluran juga berbeda. Arus terbesar terdapat pada bagian yang lebih dekat ke gardu induk sehingga semakin jauh saluran maka luas penampang konduktor akan semakin kecil. Pada jaringan distribusi PLN, kabel konduktor yang dipakai memiliki luas  $150\text{mm}^2$ ,  $70\text{mm}^2$ , dan  $35\text{mm}^2$ .

## 2.4 Distributed Generation (DG)

*Distributed generation* (DG) adalah pembangkit listrik skala kecil yang terletak pada bus sistem distribusi yaitu daerah yang terhubung langsung dengan beban [2]. *International Council on Large Electricity System* (CIGRE) mendefinisikan DG sebagai setiap pembangkit yang berkapasitas maksimum 50-100 MW yang terhubung dengan jaringan distribusi [3]. Selain itu *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) mendefinisikan DG sebagai pembangkit listrik yang lebih kecil

dari pembangkit pusat yang memungkinkan terjadi interkoneksi antar titik pada sistem tenaga listrik. Sehingga secara umum DG dapat diartikan sebagai pembangkit listrik yang tersebar di jaringan distribusi dan terhubung langsung dengan beban dengan kapasitas yang relatif kecil.

DG dapat dikelompokkan berdasarkan kapasitas pembangkitan sebagai berikut [2].

**Tabel 2.1** Klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan

<b>Jenis DG</b>	<b>Kapasitas Pembangkitan</b>
Micro DG	1 Watt – 5 kW
Small DG	5 kW – 5 MW
Medium DG	5 MW – 50 MW
Large DG	50 MW – 300 MW

Pada tugas akhir ini jaringan distribusi TL2DS2 akan di optimasi dengan menggunakan dua jenis DG yaitu *photovoltaic* (PV) dan *mini hydropower*. PV memanfaatkan energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Penggunaan PV sangat dipengaruhi oleh penyinaran matahari di suatu daerah. PV memiliki keunggulan yaitu siklus kerja yang lama, perawatan mudah, biaya operasi rendah, ramah lingkungan. Pada umumnya modul individu PV mempunyai kisaran daya dari 20 W hingga 100 kW. Kekurangan dari PV sendiri yaitu biaya instalasi yang masih mahal dibandingkan teknologi DG lain. Selain PV, *mini hydropower* juga sering dimanfaatkan sebagai energi utama DG. Kapasitas *mini hydropower* sendiri berkisar antara 100 kW dan 1 MW. Pembangkit *mini hydropower* dipengaruhi oleh debit air yang ada untuk menghasilkan arus listrik.

Pemasangan DG pada jaringan distribusi umumnya bertujuan untuk mengurangi rugi daya pada jaringan serta mengurangi permintaan daya aktif dari gardu sumber. Sehingga daya yang masih tersedia dapat dialokasikan ke beban lain. Pemasangan DG yang baik pada jaringan distribusi perlu memperhatikan besar arus hubung singkat, level tegangan, dan resiko kerugian pada sistem yang akan timbul [4].

Pemasangan DG bertujuan untuk mengurangi rugi daya, memperbaiki profil tegangan, kestabilan tegangan, kualitas pelayanan daya, dan meningkatkan level keandalan sistem [5]. Beberapa studi telah banyak dipublikasikan untuk menentukan lokasi dan ukuran DG yang tepat pada jaringan distribusi. Penentuan lokasi peletakan dan kapasitas

DG dapat dilakukan dengan cepat dan akurat menggunakan metode optimasi kecerdasan buatan atau *artificial intelligent* (AI) [6]. Pemanfaatan metode optimasi AI sudah banyak dipakai bukan hanya pada penelitian pemasangan DG namun dapat juga dipakai pada banyak disiplin ilmu lainnya. Pada penelitian ini penentuan lokasi dan kapasitas DG dilakukan dengan metode algoritma genetika dimana metode ini mengadopsi teori evolusi dalam penentuan generasi terbaik.

#### **2.4.1 Dampak Pemasangan DG pada Jaringan Distribusi Radial**

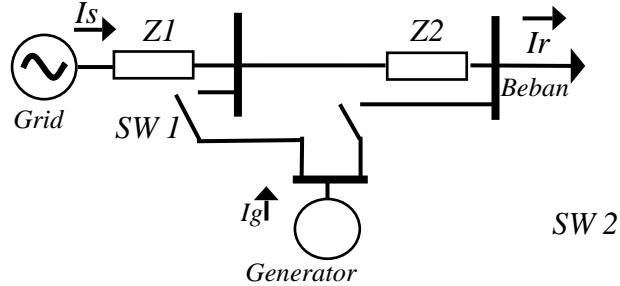
Pemasangan DG pada jaringan distribusi berdampak pada perubahan aliran daya pada jaringan, rugi-rugi daya pada jaringan, dan perubahan profil tegangan pada jaringan [4]. Nilai rugi-rugi daya pada jaringan dipengaruhi oleh arus yang mengalir serta besar hambatan pada saluran. Pada jaringan distribusi radial pemasangan DG membuat arah aliran daya pada jaringan menjadi dua arah. Perubahan aliran daya tersebut mempengaruhi nilai arus yang mengalir pada jaringan sehingga mempengaruhi rugi-rugi daya pada jaringan.

Penentuan letak integrasi DG pada jaringan serta besar daya yang dikeluarkan DG sangat penting agar maksimal dalam mengurangi rugi-rugi daya serta memperbaiki profil tegangan. Nilai tegangan dapat meningkat ketika ukuran DG yang besar dipasang pada beban yang terlalu kecil [13]. Sehingga DG yang memiliki kapasitas daya yang besar lebih baik diletakkan pada daerah yang memiliki beban besar pula.

DG yang dapat membangkitkan daya reaktif sendiri, seperti diesel ataupun mikro hidro, dapat menyerap daya reaktif besar saat DG mensuplai daya aktif yang besar. Ketika DG menyerap daya reaktif besar, maka tegangan yang berlebihan dapat diatasi [13]. Selanjutnya ketika DG yang dipasang tidak dapat membangkitkan daya reaktif sendiri seperti solar cell maka DG harus dioperasikan dalam keadaan *unity power factor* sampai tegangan pada DG mencapai tegangan maksimum, dan jika yang diperlukan lebih banyak lagi maka perlu pengatur tegangan untuk memenuhi nilai batasan tegangan.

Nilai drop tegangan berubah tergantung jika DG menyerap daya reaktif atau memberi daya reaktif. Jika DG menyerap daya reaktif terlalu besar maka jatuh tegangan pada sistem semakin bertambah sehingga dapat mengakibatkan rugi-rugi sistem semakin bertambah. Perubahan pola aliran daya akibat pemasangan DG pada jaringan distribusi

berdampak pada naiknya atau berkurangnya nilai rugi-rugi sistem. Berikut gambar 2.3 merupakan aliran daya DG dikoneksikan ke beban.



**Gambar 2.3** Perbandingan aliran daya saat DG dikoneksikan di bus yang berbeda

Dari gambar 2.3 ada dua keadaan yaitu saat switch 1 terhubung atau switch 2 terhubung. Dari dua keadaan itu terdapat nilai rugi-rugi daya yang berbeda, seperti ditunjukkan persamaan dibawah ini:

$$\text{Rugi-rugi daya} = I^2 Z \quad (2.1)$$

SW1 terhubung:

$$I_r = I_s + I_g \quad (2.2)$$

$$Z = Z_1 + Z_2 \quad (2.3)$$

$$\text{Rugi-rugi} = I_s^2 (Z_1 + Z_2) + I_g^2 (Z_2) \quad (2.4)$$

SW2 terhubung:

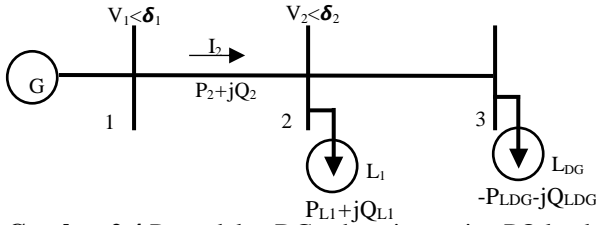
$$\text{Rugi-rugi} = I_s^2 (Z_1 + Z_2) \quad (2.5)$$

Pada saat SW2 terhubung nilai rugi daya lebih kecil dibandingkan pada saat SW1 terhubung. Hal tersebut menunjukkan bahwa peletakan DG mengubah nilai rugi-rugi daya pada jaringan. Apabila daya yang disuplai oleh DG besar maka sebaiknya dipasang di sekitar jaringan yang berbeban besar pula.

#### 2.4.2 Pemodelan DG sebagai Negative PQ Load

DG mengakibatkan aliran arus dan daya pada sistem distribusi menjadi dua arah. Apabila DG dimodelkan sebagai negative PQ load, maka dapat diartikan bahwa DG merupakan beban dengan nilai daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) yang diberi tanda negatif yang berarti menginjeksi daya ke bus. DG sebagai negative PQ load tidak mampu

meregulasi daya reaktif sehingga tidak dapat mempertahankan tegangan sesuai yang diinginkan. Berikut gambar 2.4 merupakan contoh pemodelan PV sebagai negative PQ load.



**Gambar 2.4** Pemodelan DG sebagai negative PQ load

Gambar 2.4 menunjukkan DG terletak pada bus 3.  $-P_{LDG}$  dan  $-Q_{LDG}$  merupakan daya injek DG pada sistem dan memiliki tanda negatif yang menunjukkan DG sebagai negative PQ load. Pada bus 2 terdapat beban  $L_1$  sebesar  $P_{L1}$  dan  $Q_{L1}$ . Total daya pada bus 2 dapat dihitung menjadi:

$$P_2 + jQ_2 = P_{L1} - P_{LDG} + j(Q_{L1} - Q_{LDG}) \quad (2.6)$$

### 2.4.3 Pemodelan DG sebagai PV Model

DG sebagai PV model dapat menentukan tegangan pada bus yang terhubung karena nilai daya reaktif DG akan diregulasikan untuk mencapai nilai tegangan bus yang diinginkan. Apabila pada gambar 2.4 DG dihubungkan pada bus 2, maka besar daya reaktif yang harus diinjeksikan DG adalah sebagai berikut.

Daya total bus 2:

$$P_2 + jQ_2 = V_2 \cdot I_2^* \quad (2.7)$$

$$I_2 = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2^2} \quad (2.8)$$

dengan,

$$I_2 = \frac{|V1| < \delta1 - |V2| < \delta2}{R + jX} \quad (2.9)$$

Jika persamaan 2.9 disubstitusikan dengan persamaan 2.8 maka :

$$P_2 - jQ_2 = \frac{(|V2| < -\delta2) \cdot (|V1| < \delta1 - |V2| < \delta2)}{R + jX} \quad (2.10)$$

$$P_2 - jQ_2 = \frac{|V2| |V1| < (\delta1 - \delta2) - |V2| |V2| < (\delta2 - \delta2)}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (2.11)$$



Karena Q adalah komponen imajiner maka perhitungan yang diperlukan hanya komponen imajiner pada persamaan 2.11.

$$Q_2 = \frac{|V_2||V_1|\sin(\theta - \delta_1 + \delta_2) - |V_2||V_2|\sin\theta}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (2.12)$$

Dari persamaan 2.12 didapatkan nilai  $Q_2$  sebagai daya reaktif total pada bus 2.

## 2.5 Algoritma Genetika

Algoritma genetika (GA) adalah metode optimasi yang bekerja seperti seleksi alam. GA bekerja menyeleksi setiap individu secara acak dari sebuah populasi. Perubahan alam akan mempengaruhi kehidupan populasi makhluk hidup. Hal ini mengakibatkan makhluk hidup mengalami perubahan kebiasaan untuk beradaptasi. Makhluk hidup yang tidak dapat beradaptasi akan mati dan sebaliknya jika dapat bertahan akan menciptakan generasi baru yang mampu bertahan juga.

John Holland adalah penemu dari metode optimasi GA pada tahun 1970. John Holland mulai bekerja dengan algoritma yang dibentuk dari string string biner 1 dan 0 yang disebut kromosom. Kromosom yang baik dipilih dengan memanipulasi materi dan sifat gen kromosom. Informasi yang diberikan dari evaluasi berupa nilai fitness setiap kromosom. GA memiliki empat dasar kerja yaitu:

1. Mengkodekan parameter permasalahan dan tidak bekerja secara langsung dengan parameter-parameter tersebut.
2. Mencari solusi masalah dari sejumlah populasi kandidat solusi, tidak hanya memproses satu solusi saja.
3. Hanya memperhitungkan fungsi fitness setiap kandidat solusi untuk mendapatkan hasil optimum global.
4. Menggunakan aturan secara transisi secara probabilistik bukan deterministik.

### 2.5.1 Komponen-komponen Algoritma Genetika

Ada dua istilah komponen pada GA yaitu obyek dan subyek. Obyek adalah kromosom yang memiliki parameter-parameter yang akan dicari nilai optimasinya dengan menggunakan fungsi obyektif. Subyek berperan sebagai operator terhadap obyek melalui proses inisialisasi, kawin silang, dan mutasi secara berulang kali. Kromosom ini terdiri dari

gen-gen yang terdiri dari bilangan biner (0 dan 1), integer, real, maupun huruf. Ada beberapa operator yang berperan penting dalam GA yaitu:

1. Fungsi Fitness (Obyektif)

Fungsi fitness merupakan persamaan untuk menghitung nilai kromosom (*fitness*) yang bermanfaat untuk perbandingan dalam menghasilkan induk baru calon kawin silang.

2. Seleksi

Proses seleksi dilakukan untuk mendapatkan calon induk baru melalui kawin silang atau proses selanjutnya atau mutasi. Pada proses seleksi nilai fungsi obyektif akan mempengaruhi pemilihan induk baru.

3. Kawin Silang

Dari hasil seleksi kromosom yang memiliki nilai fitness terbesar akan dipilih sebagai induk yang akan dikawin silang. Dua induk kromosom yang dikawin silang akan diambil gen terpilih untuk membentuk induk baru untuk melakukan proses kawin silang kembali dengan kromosom lainnya.

4. Mutasi

Mutasi adalah proses mengganti nilai gen sebelumnya dengan nilai baru yang baru secara acak dengan range yang sudah ditentukan. Gen yang sudah memiliki nilai baru akan bergabung lagi dengan induk kromosom dan ditentukan nilai fitness barunya. Nilai fitness yang baru akan menentukan nilai optimal pada iterasi yang telah dilakukan.

5. *Reinsertion* (Reins)

Setelah kromosom mengalami proses kawin silang dan mutasi, kromosom yang memiliki nilai obyektif baru akan bergabung kembali dengan kromosom-kromosom lama yang tidak mengalami proses kawin silang dan mutasi. Hal itu disebut dengan proses *reinsertion*. Pada saat mutasi nilai obyektif kromosom akan dihitung kembali seluruhnya dan menghasilkan induk baru. Induk baru kromosom akan disisipkan lagi ke dalam populasi lama agar jumlah populasinya tetap.

## 2.5.2 Parameter Genetic Algorithm

Berikut ini adalah beberapa parameter yang digunakan dalam genetic algorithm :

1. Jumlah Generasi (MAXGEN)  
Merupakan jumlah maksimal generasi atau jumlah maksimal perulangan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai optimal. Jumlah generasi mempengaruhi kestabilan output dan lama proses iterasi atau waktu proses GA.
2. Ukuran Populasi (POPSIZE)  
Jika ukuran populasi kecil maka populasi tidak menyediakan materi yang cukup untuk mencakup ruang permasalahan yang mengakibatkan kinerja genetic algorithm menjadi buruk. Penggunaan populasi yang besar dapat mencegah terjadinya konvergensi pada wilayah local.
3. Probabilitas *crossover* (Pc)  
Probabilitas *crossover* digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator *crossover*. Pada populasi terdapat  $P_c \times \text{POPSIZE}$  struktur (individu) yang melakukan *crossover*. Semakin besar nilai probabilitas *crossover* maka semakin cepat struktur baru dikenalkan dalam populasi. Namun jika probabilitas sangat besar maka struktur yang memiliki fungsi obyektif baik dapat hilang lebih cepat dari seleksi. Jika probabilitas terlalu kecil dapat menghambat proses pencarian pada proses genetic algorithm. Zbigniew Michalewics (1996) berpendapat banyak aplikasi GA menggunakan angka probabilitas crossover pada range 0.65-1.
4. Probabilitas Mutasi (Pm)  
Probabilitas mutasi berguna meningkatkan variasi populasi untuk menentukan tingkat mutasi  $P_m \times \text{POPSIZE} \times N$ , N adalah panjang struktur/gen dalam satu individu. Probabilitas mutasi yang kecil mengakibatkan keturunan gen-gen yang berpotensi tidak dicoba dan sebaliknya probabilitas mutasi yang besar menyebabkan keturunan akan semakin mirip dengan induknya. Zbigniew Michalewics (1996) berpendapat banyak aplikasi GA menggunakan angka probabilitas mutasi pada range 0.001-0.01.
5. Panjang Kromosom (NVAR)  
NVAR adalah deret-deret gen yang membentuk satu kromosom. Gen ini merupakan parameter dari suatu obyek tersebut. Semakin

panjang NVAR maka hasil yang diperoleh lebih kompleks dan memiliki waktu proses yang lebih lama.

### 2.5.3 Proses Genetic Algorithm

Berikut adalah proses dalam genetic algorithm:

1. Pengkodean dan representasi  
Langkah pertama adalah melakukan pengkodean terhadap permasalahan yang akan diproses. Kode-kode dapat berupa kode biner, bilangan real, huruf, dan sebagainya.
2. Fungsi fitness  
Setelah pengkodean, fungsi fitness dijalankan untuk mengetahui berapa nilai kromosom dalam populasi tersebut. Di awal optimasi, biasanya nilai fitness setiap individu mempunyai rentang yang lebar. Namun seiring bertambahnya jumlah generasi, beberapa kromosom mendominasi populasi dan membuat rentang nilai fitness semakin kecil. Hal ini akan mengakibatkan konvergensi dini. Setelah itu seluruh nilai fitness dijumlahkan untuk mengetahui berapa probabilitas sebuah kromosom ditinjau dari populasinya untuk terpilih menjadi induk untuk kawin silang.
3. Seleksi  
Proses seleksi menentukan bagaimana genetic algorithm memilih memilih induk untuk generasi selanjutnya. Ada beberapa metode yang dipakai dalam proses seleksi seperti *rank selection*, *roulette wheel selection*, *elitism*, dsb.
4. Cross Over (Kawin Silang)  
Pertama sekali ditentukan posisi gen masing-masing induk. Setelah itu proses crossover dilakukan dengan saling menukarkan gen induk-induk hasil seleksi. Cara kerjanya pertama membangkitkan nilai random  $r_k$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots, \text{POPSIZE}$ . *Probabilitas crossover ( $P_c$ )* Ditentukan dan digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator *crossover*. Jika nilai random  $r_k < P_c$ , maka kromosom  $k$  akan terpilih untuk mengalami *crossover*. Untuk melakukan *crossover* dilakukan dengan menandai titik silang dengan beberapa cara yaitu *one point crossover*, *two point crossover* dan *crossover uniform*.

# BAB III

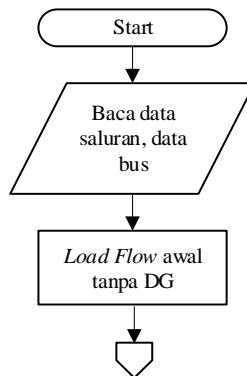
## PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI DAN PENAMBAHAN *DISTRIBUTED GENERATION*

### 3.1 Diagram Alur Penelitian

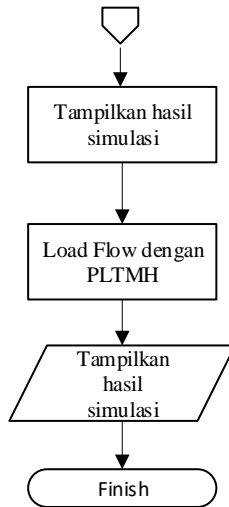
Penelitian menggunakan jaringan distribusi penyalang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul dari Gardu Induk (GI) Tele Samosir yang terhubung dengan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH) Aek Silang yang memiliki kapasitas daya 750 kW. Data – data yang telah diperoleh dari PT.PLN Rayon Dolok Sanggul adalah *single line diagram*, data impedansi dan panjang saluran, kapasitas trafo dan pembebanan trafo.

Pemodelan jaringan distribusi penyalang TL2-DS2 menggunakan software Matlab. Analisa aliran daya pertama kali dilakukan dengan melihat profil tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sebelum dan sesudah dihubungkan dengan PLTMH. Beberapa variabel yang diamati berupa beban pada jaringan, besar impedansi pada jaringan, besar tegangan pada sistem, serta rugi-rugi daya pada jaringan distribusi. Dengan demikian dapat dilihat bagaimana pengaruh penambahan PLTMH pada jaringan distribusi penyalang TL2-DS2.

Berikut ini merupakan *flowchart* yang menunjukkan langkah simulasi awal aliran daya jaringan distribusi penyalang TL2-DS2 Ranting Dolok Sanggul.

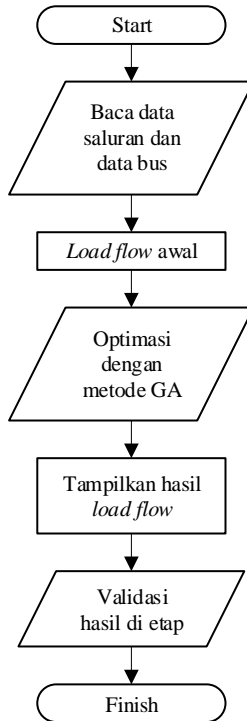


**Gambar 3.1** *Flowchart* simulasi awal



**Gambar 3.1** *Flowchart* simulasi awal (lanjutan)

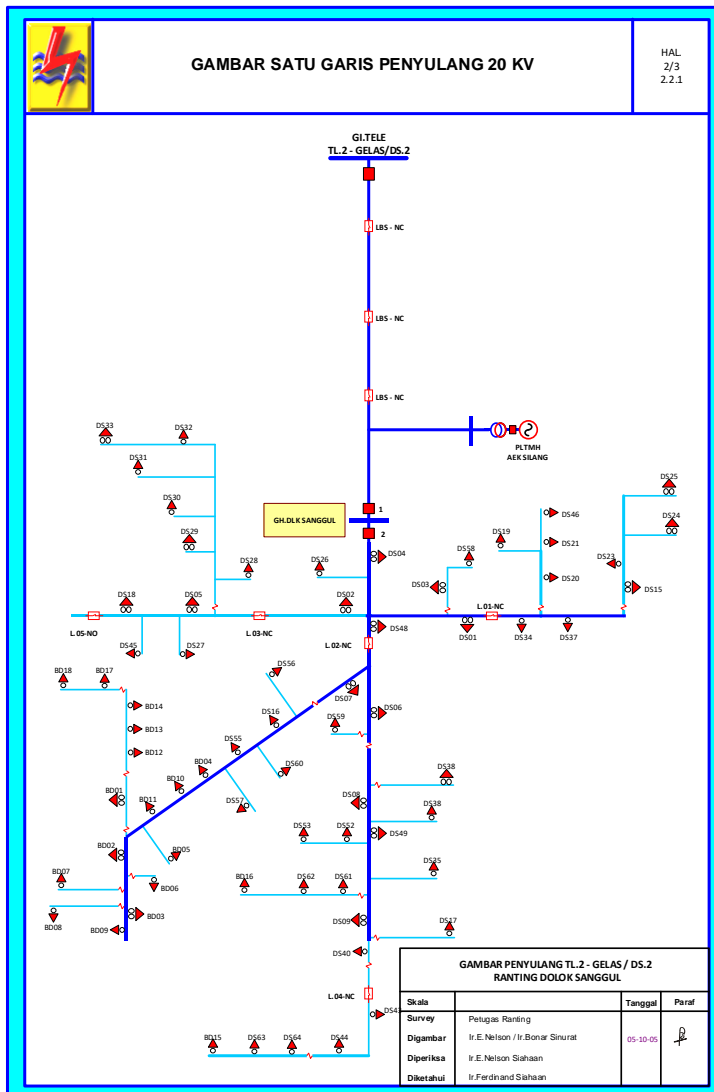
Selanjutnya dilakukan penambahan PV *array* pada dua lokasi bus jaringan distribusi TL2DS2. Penentuan lokasi titik integrasi dan kapasitas PV dilakukan dengan menggunakan metode Algoritma Genetika (GA). Pemodelan jaringan distribusi dilakukan dengan mempresentasikan data-data jaringan distribusi dalam bentuk program Matlab. Hasil optimasi akan menunjukkan hasil berupa lokasi serta kapasitas dari PV yang akan ditambahkan pada jaringan distribusi TL2DS2. Setelah itu dilakukan analisa aliran daya menggunakan metode *Backward-Forward Sweep load flow* setelah dioptimasi dengan GA. Hasil analisa aliran daya yang didapat dari Matlab juga akan dibandingkan dengan hasil perhitungan *software* Etap 12.6 yang merupakan simulator aliran daya Newton Raphson. Berikut ini merupakan *flowchart* yang menunjukkan langkah optimasi jaringan distribusi penyulang TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul dengan menggunakan GA.



. **Gambar 3.2** Flowchart optimasi dengan menggunakan GA

### 3.2 Sistem Distribusi TL2DS2 Dolok Sanggul

Sistem distribusi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sistem distribudi penyulang TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul dengan *rating* tegangan 20 kV. Penyulang TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul memiliki jenis penghantar AAAC. Total panjang saluran dari jaringan distribusi primernya adalah 157,5 km dengan total beban daya aktif sebesar 1,258 MW dan beban daya reaktif 0,711 MVAR. Penyulang TL2DS2 terhubung dengan PLTMH Aek Silang dengan kapasitas 0,75 MW. Berikut ini merupakan *single line diagram*, data saluran, dan data pembebanan sistem.



**Gambar 3.3** Single line diagram penyulang 20 kV TL2DS2



**Tabel 3.1** Data penyulang 20 kV TL2DS2

Bus asal	Bus tujuan	R(Ohm)	X(Ohm)
1	2	9,750621	14,90555
2	3	0,9216	0,7144
3	4	0,4608	0,3572
4	5	0,18432	0,14288
5	6	0,10752	0,13504
6	7	1,02144	1,28288
7	8	0,59136	0,74272
8	9	0,672	0,844
9	10	0,672	0,844
10	11	0,8064	1,0128
11	12	0,82944	0,64296
12	13	0,32256	0,40512
13	14	0,2688	0,3376
14	15	0,34944	0,43888
15	16	2,624475	4,011976
3	17	0,55302	0,2274
4	18	0,1344	0,1688
18	19	0,73736	0,3032
19	20	1,01387	0,4169
20	21	0,73736	0,3032
21	22	0,55302	0,2274
22	23	0,64519	0,2653
23	24	0,444554	1,036089
4	25	0,10752	0,13504
25	26	0,04324	0,0661
26	27	0,41078	0,62795
27	28	0,51888	0,7932
28	29	0,36864	0,28576
29	30	0,41472	0,32148
30	31	0,9217	0,379
25	32	4,83832	1,989501
6	33	0,2688	0,3376
33	34	0,08064	0,10128
34	35	0,21504	0,27008
35	36	0,18816	0,23632
36	37	0,1344	0,1688

**Tabel 3.1** Data penyulang 20 kV TL2DS2 (lanjutan)

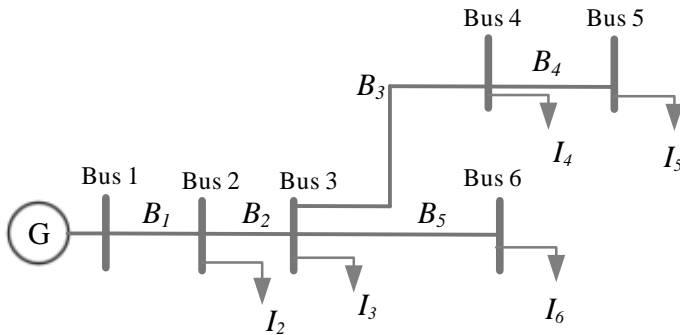
Bus asal	Bus tujuan	R(Ohm)	X(Ohm)
37	38	0,24192	0,30384
38	39	0,16128	0,20256
39	40	0,5376	0,6752
40	41	1,10604	0,4548
41	42	1,10604	0,4548
42	43	5,806708	2,3877
43	44	1,79712	1,393081
19	45	0,73736	0,3032
45	46	0,64519	0,2653
46	47	3,326345	1,367782
33	48	2,721555	1,119094
27	49	1,31328	1,01802
49	50	1,965568	0,808235
45	51	2,721555	1,119094
20	52	0,907185	0,373032
8	53	0,64519	0,2653
46	54	1,47472	0,6064
21	55	0,18434	0,0758
49	56	3,326345	1,367782
9	57	0,64519	0,2653
35	58	2,21208	0,9096
22	59	1,511975	0,621719
29	60	0,9217	0,379
10	61	5,140715	2,113845
36	62	0,32256	0,25004
23	63	6,65269	2,735564
11	64	3,326345	1,367782
37	65	1,10604	0,4548
38	66	0,59904	0,46436
12	67	0,96768	0,75012
67	68	20,26047	8,331038
68	69	17,53891	7,211941
13	70	0,18434	0,0758
39	71	3,778559	2,929041
14	72	1,47472	0,6064
40	73	1,56689	0,6443

**Tabel 3.2** Data pembebanan penyulang TL2DS2

Bus	P (kW)	Q (kVAR)	Bus	P (kW)	Q (kVAR)
1	0	0	38	0	0
2	0	0	39	13,6	8,43
3	74,8	46,36	40	11,05	6,85
4	146,88	91,03	41	0	0
5	0	0	42	5,53	3,42
6	45,05	27,92	43	6,8	4,21
7	0	0	44	2,38	1,47
8	0	0	45	0	0
9	17,44	3,54	46	0	0
10	21,93	3,4	47	19,55	12,12
11	0	0	48	7,48	4,64
12	24,86	13,28	49	7,65	4,74
13	0	0	50	17	10,54
14	0	0	51	13,6	8,43
15	10,65	3,33	52	14,71	9,11
16	7,23	4,48	53	14,71	9,11
17	9,61	5,95	54	65,28	40,46
18	0	0	55	19,98	12,38
19	88,4	54,79	56	16,58	10,27
20	0	0	57	4,56	1,5
21	0	0	58	12,33	7,64
22	0	0	59	4,34	2,69
23	7,65	4,74	60	11,64	2,92
24	3,4	2,11	61	10,29	2,09
25	255,85	158,56	62	12,33	7,64
26	24,65	15,28	63	14,45	8,96
27	61,05	24,56	64	7,43	1,06
28	32,57	5,23	65	2,99	2,34
29	0	0	66	3,57	2,21
30	0	0	67	8,59	5,32
31	11,16	2,8	68	0	0
32	4,08	2,53	69	7,14	4,42
33	0	0	70	6,21	3,85
34	0	0	71	12,75	7,9
35	38,25	23,71	72	2,98	1,84
36	0	0	73	13,86	8,59
37	0	0			

### 3.3 Aliran Daya

Metode aliran daya *Backward-Forward Sweep* menggunakan prinsip Hukum Kirchoff untuk menganalisa aliran daya. Metode ini menggunakan dua tahap perhitungan yaitu *backward sweep* dan *forward sweep*. Perhitungan arus yang mengalir pada tiap cabang dari beban paling ujung sampai bus referensi adalah tahapan *backward sweep*. Sedangkan pada tahapan *forward sweep* dilakukan perhitungan drop tegangan serta tegangan di setiap bus yang dilakukan setelah tahapan *backward*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan aliran daya pada jaringan distribusi radial menggunakan metode *Backward/Forward Sweep*.



**Gambar 3.4** Contoh jaringan distribusi radial

Sebagai contoh akan dilakukan analisa aliran daya pada jaringan distribusi dengan menggunakan metode *backward forward* pada jaringan distribusi radial pada gambar 3.4. Persamaan arus yang diinjeksi pada tiap-tiap bus adalah sebesar:

$$B_5 = I_6 \quad (3.1)$$

$$B_4 = I_5 \quad (3.2)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (3.3)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (3.4)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (3.5)$$

Dari persamaan injeksi arus ke bus, matriks BIBC dapat disusun seperti persamaan 3.6.

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Pola umum dari persamaan diatas adalah sebagai berikut:

$$[B] = [BIBC][I] \quad (3.7)$$

Tegangan masing-masing bus pada jaringan distribusi diatas ditentukan oleh persamaan berikut:

$$V_2 = V_1 - B_1.Z_{12} \quad (3.8)$$

$$V_3 = V_1 - B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} \quad (3.9)$$

$$V_4 = V_1 - B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} - B_3.Z_{34} \quad (3.10)$$

$$V_5 = V_1 - B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} - B_3.Z_{34} - B_4.Z_{45} \quad (3.11)$$

$$V_6 = V_1 - B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} - B_3.Z_{34} - B_4.Z_{45} - B_5.Z_{36} \quad (3.12)$$

Dengan demikian besar jatuh tegangan pada jaringan distribusi tersebut ditentukan oleh persamaan berikut:

$$V_1 - V_2 = B_1.Z_{12} \quad (3.13)$$

$$V_1 - V_3 = B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} \quad (3.14)$$

$$V_1 - V_4 = B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} - B_3.Z_{34} \quad (3.15)$$

$$V_1 - V_5 = B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} - B_3.Z_{34} - B_4.Z_{45} \quad (3.16)$$

$$V_1 - V_6 = B_1.Z_{12} - B_2.Z_{23} - B_3.Z_{34} - B_4.Z_{45} - B_5.Z_{36} \quad (3.17)$$

Dari persamaan 3.13 hingga 3.17 dapat disusun matrix BCBV sistem distribusi diatas, yaitu:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Pola umum persamaan diatas dapat ditulis seperti persamaan 3.19

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3.7 ke persamaan 3.19, maka diperoleh persamaan 3.20.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.20)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.21)$$

Apabila bentuk matriks BIBC bila ditranspose komposisinya, maka akan terbentuk matriks yang berkolerasi dengan matriks BCBV.

$$[BIBC^T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Apabila matriks  $BIBC^T$  dikalikan per komponen dengan matriks impedansi, maka akan didapatkan matriks BCBV sebagai berikut:

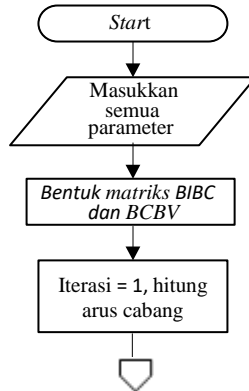
$$BCBV = [BIBC^T] \cdot Z$$

$$[BCBV] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

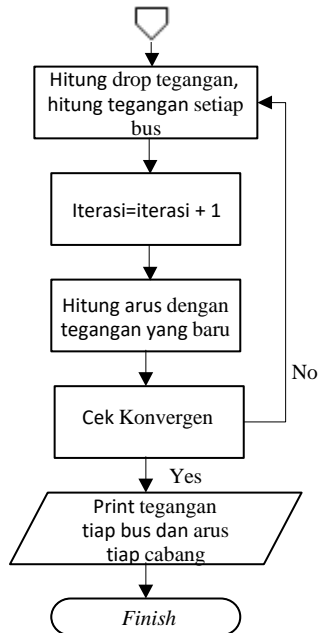
$$BCBV = [BIBC^T] \cdot Zx[BIBC]x[I] \quad (3.2.4)$$

### 3.3.1 Flowchart Metode Backward-Forward Sweep

Berikut 3.5 merupakan implementasi metode analisa aliran daya backward-forward sweep dalam bentuk flowchart.



**Gambar 3.5** Flowchart *backward-forward sweep*



**Gambar 3.5** Flowchart *backward-forward sweep* (lanjutan)

Keterangan alur *flowchart* :

1. Menentukan semua parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan analisa aliran daya, seperti  $kV_{base}$ , data beban dalam bentuk persamaan kompleks  $(P+jQ)$ , dan data impedansi tiap saluran  $(R+jX)$ .
2. Membangun matriks BIBC dan BCBV.
3. Atur tegangan awal pada seluruh bus sama dengan tegangan pada bus referensi dan set iterasi  $(k) = 1$ . Kemudian hitung nilai arus di setiap cabang dengan persamaan berikut.

$$I_i^k = \text{conj} \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right) \quad (3.25)$$

Ket :

$I_i^k$  = Arus cabang  $i$  pada iterasi ke- $k$

$V_i^k$  = Tegangan bus  $i$  pada iterasi ke- $k$

$P_i + jQ_i$  = Daya total pada bus  $i$

4. Menghitung drop tegangan dan nilai tegangan di setiap bus kemudian lanjut ke iterasi berikutnya.

Persamaan drop tegangan:

$$[\Delta V_i^k] = [DLF][I_i^k] \quad (3.26)$$

Ket :

$\Delta V_i^k$  = Drop tegangan antara bus referensi dengan bus I pada iterasi ke- $k$

Hitung nilai tegangan pada setiap bus dari hasil selisih antara tegangan bus referensi dengan drop tegangan yang didapatkan sebelumnya. Berikut ini persamaannya.

$$[V_i^k] = [V_{referensi}] - [\Delta V_i^k] \quad (3.27)$$

Lanjut ke iterasi berikutnya

$$\text{Iterasi} = \text{iterasi} + 1 \quad (3.28)$$

5. Hitung arus beserta tegangan yang baru

$$I_i^{k+1} = \text{conj} \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^{k+1}} \right) \quad (3.29)$$

6. Dilakukan pengecekan konvergen untuk mengetahui nilai error antara hasil arus pada iterasi saat ini dengan hasil arus pada iterasi sebelumnya.

$$||I_i^{k+1}| - |I_i^k|| > \text{toleransi} \quad (3.30)$$

Apabila nilai error melebihi nilai toleransi maka kembali ke tahap 4 dan apabila nilai error memenuhi batas nilai toleransi maka lanjut ke tahap berikutnya.

7. Didapatkan nilai tegangan bus dan arus yang final. Hitung total rugi daya saluran dengan persamaan berikut.

$$\sum_{i=1}^n (P_{loss-i} + jQ_{loss-i}) = \sum_{i=1}^n (I_i^2 \cdot R_i) \quad (3.31)$$

Tampilkan hasil tegangan setiap bus dan arus setiap cabang, dan total rugi daya.

### 3.4 Fungsi Objektif dan *Constraint* untuk Penempatan DG

Pada tugas akhir ini, fungsi objektif yang diinginkan dari penentuan lokasi DG (*photovoltaic*) adalah untuk meminimasi total rugi daya nyata. Hasil yang didapatkan dikatakan optimum apabila nilai rugi



daya aktif saluran yang diperoleh adalah yang terkecil [8]. Total rugi daya nyata dari bus  $i$  ke  $j$  dapat dirumuskan sebagai berikut [12].

$$I_{ij} = I_l = y_{ij}(V_i - V_j) \quad (3.32)$$

$$I_{ji} = -I_l = -(y_{ij}(V_i - V_j)) \quad (3.33)$$

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (3.34)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (3.35)$$

$$S_l = S_{ij} + S_{ji} \quad (3.36)$$

Kerugian daya pada setiap saluran yang menghubungkan bus  $i$  ke bus  $j$  dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$P_{loss(i,j)} = \text{real}(S_l) \quad (3.37)$$

Dari persamaan 3.37, total kerugian daya dapat dihitung dengan cara menjumlahkan kerugian daya pada setiap saluran sehingga didapatkan persamaan berikut

$$\text{Min } F_1(x) = \sum_{j=1}^n P_{loss(i,j)} \quad (3.38)$$

Dimana  $n$  adalah jumlah cabang dari jaring distribusi, dan  $(i,j) \in B$  berarti  $(i,j)$  adalah 2 titik dari sebuah saluran  $bus_i$  dan  $bus_j$ .

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa *constraint* yang digunakan yaitu batasan daya keluaran DG serta batasan tegangan yang diizinkan pada tiap bus [11]. Batasan tegangan yang diizinkan pada tiap bus dimana selisih antara tegangan tiap bus dengan tegangan sumber yakni 20 kV tidak boleh melebihi 5%. Hal tersebut bertujuan agar tidak terjadi *under voltage* ataupun *over voltage* yaitu tegangan harus berada antara 19 kV dan 21 kV. Sedangkan untuk *constraint* daya DG dibatasi tidak lebih dari jumlah total beban pada jaringan [11]. Berikut persamaan *constraint* tegangan dan *constraint* daya DG.

*Constraint* tegangan [11]

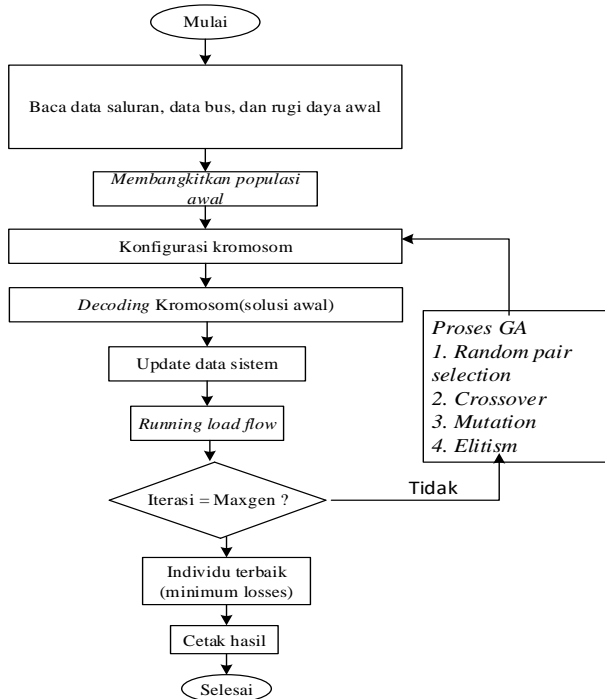
$$V_{min} \leq |V_i| \leq V_{max} \quad (3.39)$$

*Constraint* injek daya aktif dari DG [11]

$$\sum_{i=1}^{NDG} PDG(i) \leq \sum_{j=1}^{Ni} PD(j) \quad (3.40)$$

### 3.5 Penentuan Lokasi dan Ukuran DG Menggunakan GA

Berikut adalah *flowchart* penentuan lokasi dan ukuran DG menggunakan metode GA.



**Gambar 3.6** Diagram alir optimasi menggunakan GA

#### 3.5.1 Pembacaan Awal Data Saluran dan Data Beban

Pada tahap ini dilakukan pembacaan data saluran dan beban jaringan distribusi penyalang TL2-DS2 Dolok Sanggul. Data tersebut kemudian digunakan untuk perhitungan aliran daya untuk mendapatkan data arus saluran dan tegangan tiap bus yang kemudian dilakukan

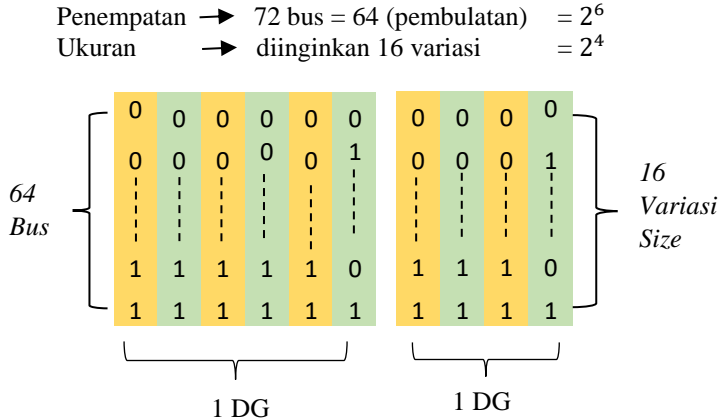
optimasi menggunakan metode GA. Sehingga akan diperoleh data awal untuk menentukan batasan, *fitness*, dan fungsi objektif pada GA.

### 3.5.2 Pembangkitan Populasi

Pada tahap ini dilakukan pembangkitan jumlah populasi yang diinginkan. Populasi merupakan jumlah individu yang ada dalam GA. Individu berisi kromosom yang berisi gen-gen dengan nilai desimal 1 dan 0. Panjang bit dari suatu kromosom tergantung dari jumlah gen yang merepresentasikan jenis kasus yang diinginkan.

### 3.5.3 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi dan Kapasitas DG

Pengkodean biner lokasi penempatan DG tergantung dari jumlah bus sistem yaitu 72 bus. Kemudian untuk pengkodean kapasitas DG tergantung berapa banyak variasi ukuran yang diinginkan. Pengkodean bagian pertama merupakan 6 bit lokasi penempatan DG dan 4 bit daya keluaran DG. Contoh dapat dilihat seperti pada gambar dibawah.

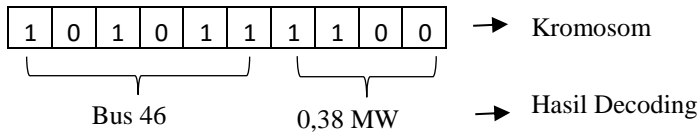


**Gambar 3.9** Kromosom lokasi dan kapasitas DG

Jumlah bit biner akan bertambah sesuai banyak jumlah DG yang digunakan. Selanjutnya kromosom bergabung menjadi satu individu dalam GA. Daya keluaran DG berupa daya keluaran aktif (P).

#### 3.5.4 Decode Kromosom

Setelah individu dibangkitkan dalam bentuk biner perlu dilakukan proses *decoding* atau penerjemahan sesuai dengan data yang diperlukan dalam bentuk desimal. Hasil terjemahan kemudian dijadikan sebagai input untuk aliran daya dan evaluasi pada setiap fitness baru pada individu. Setelah penerjemahan dilakukan maka sistem yang baru dapat ditentukan. Contoh hasil penerjemahan pada suatu kromosom dapat kita lihat pada gambar 3.7.



**Gambar 3.8** Decode atau penerjemahan kromosom

Dari gambar diatas dapat dilihat penerjemahan daya keluaran DG adalah 0,38 MW dan berlokasi pada bus 46. Selanjutnya hasil terjemahan dimasukkan menjadi data sistem yang baru dan akan dievaluasi kembali nilai *fitness* dari individu pada sistem yang baru tersebut.

#### 3.5.5 Evaluasi Fitness

Pada tahapan ini dilakukan evaluasi terhadap fitness dari sistem baru setelah proses *decoding*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah hasil yang diperoleh memenuhi syarat batasan yang diberikan. Pada tugas akhir ini, fungsi objektif yang diinginkan dari penentuan lokasi DG adalah total rugi daya yang paling minimal.

Fungsi Objektif,

$$\text{Minimize } P_{T,loss} = \sum_{j=1}^n P_{loss(i,j)} \quad (3.41)$$

$P_{T,loss}$  = total rugi daya aktif pada seluruh saluran di sistem

n = jumlah bus yang ada pada sistem

Individu yang menghasilkan fitness dan memenuhi batasan akan menjadi calon solusi. Batasan yang dimaksud merupakan batasan daya dan batasan tegangan. Batasan daya keluaran adalah dimana total daya keluaran DG sama dengan total daya beban [11]. Sedangkan batasan tegangan yang dipakai adalah selisih antara tegangan bus terhadap tegangan sumber tidak lebih dari 5% atau berada antara 0,95 p.u dan 1,05 p.u [11].

$$V_{min} \leq |V_i| \leq V_{max} \quad (3.42)$$

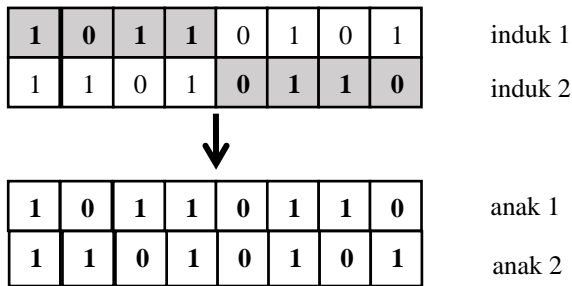
### 3.5.6 Seleksi Induk atau Orangtua

Seleksi induk bertujuan membentuk keturunan baru berdasarkan orangtua yang terpilih. Metode untuk seleksi induk yang dipakai adalah *random pair selection*. Cara kerja metode ini yaitu memilih dua induk secara acak. Oleh karena itu jumlah kromosom yang digunakan adalah dua buah kromosom. Hasil dari proses ini adalah kromosom baru akan mempunyai bagian baik dari kromosom lama dan tidak menutup kemungkinan menjadi kromosom yang terbaik.

### 3.5.7 Crossover

*Crossover* (perkawinan silang) merupakan salah satu operator dalam algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk menghasilkan keturunan yang baru. *Crossover* dilakukan dengan melakukan pertukaran gen dari dua induk secara acak. Proses *crossover* dilakukan pada setiap individu dengan probabilitas *crossover* yang ditentukan. Apabila nilai acak yang dihasilkan saat pembangkitan generasi kurang dari probabilitas *crossover* maka akan dilakukan proses *cross over*.

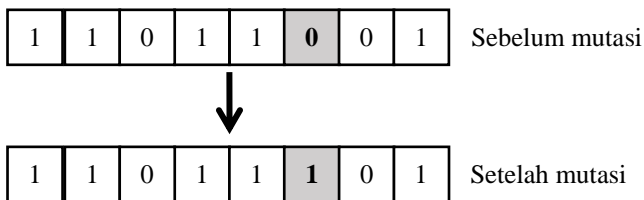
Pada tugas akhir ini, metode *crossover* yang digunakan adalah *cross over* satu titik. Pada metode satu titik, masing-masing kromosom orang tua dibagi menjadi dua bagian lalu saling di pindah silangkan dan menghasilkan 2 keturunan. Berikut ini merupakan gambar yang menunjukkan proses *cross over* satu titik pada algoritma genetika.



**Gambar 3.9** Mekanisme crossover satu titik

### 3.5.8 Mutasi

Proses mutasi sama halnya seperti *crossover* yakni memiliki probabilitas mutasi. Probabilitas mutasi yang banyak digunakan oleh literatur berkisar antara 0 sampai 0,01 [11]. Angka itu sangat kecil yang sesuai dengan realitas di alam bahwa peluang mutasi yang terjadi adalah sangat langka. Pada tugas akhir ini, metode yang digunakan adalah mutasi pengkodean biner. Mutasi pada pengkodean biner merupakan operasi yang sangat sederhana. Proses yang dilakukan adalah menginversi nilai bit pada posisi tertentu pada suatu kromosom. Berikut ini merupakan gambar yang menunjukkan proses mutasi dalam pengkodean biner.



**Gambar 3.10** Mekanisme mutasi dalam pengkodean biner

### 3.5.9 Elitism

Pada setiap iterasi yang dilakukan akan diperoleh nilai fitness dari individu hasil. Pada tugas akhir ini nilai fitness yang dicari merupakan nilai rugi-rugi daya nyata paling minimal. Untuk setiap generasi terdapat satu nilai fitness terbaik. Nilai fitness akan mengalami perubahan untuk setiap iterasi yang dilakukan. Nilai fitness terbaik yang didapat akan dimasukkan dalam wadah untuk mencetak hasil akhir dari proses optimasi. Proses tersebut disebut dengan istilah elitism. Solusi terbaik yang dicetak berupa lokasi dan daya keluaran DG yang paling optimal.

## 3.6 Komponen dan Parameter Algoritma Genetika

Berikut ini adalah komponen pada algoritma genetika yang dipakai pada proses pencarian lokasi dan kapasitas DG pada jaringan untuk meminimalkan rugi-rugi daya.

- a. Gen  
Digunakan jenis biner sehingga parameter yang digunakan pada metode algoritma genetika ini adalah angka nol dan satu. Setiap gen memiliki nilai tersendiri.
- b. Kromosom  
Kromosom merupakan kumpulan dari gen-gen yang membentuk individu, banyaknya gen bergantung pada jumlah optimasi yang dilakukan dan jumlah DG yang dipasang.
- c. Individu  
Individu merupakan representasi dari sebuah kromosom. Individu membawa nilai fitness berupa rugi daya minimum dan keluaran daya aktif DG maksimum, sedangkan solusi yang dihasilkan lokasi dan ukuran dari DG yang dipasang.
- d. Populasi  
Populasi adalah kumpulan dari kromosom. Pada tugas akhir ini dilakukan *trial and error* untuk mendapatkan populasi yang tepat. Ukuran populasi yang didapat paling optimal adalah 170.
- e. *Fitness*  
*Fitness* pada optimisasi pada tugas akhir ini yaitu fungsi objektif untuk minimisasi rugi daya saluran.

Total rugi daya minimal:

$$\text{Min } F_1(x) = \sum_{j=1}^n P_{\text{loss}(i,j)} \quad (3.31)$$

f. Jumlah generasi

Jumlah generasi (maxgen) merupakan jumlah generasi dari hasil perkawinan silang (crossover) atau keturunan yang ingin digunakan dalam satu kali proses evolusi. Apabila setelah beberapa jumlah generasi dan tidak ada kelanjutan perbaikan yang diamati maka kromosom terbaik merepresentasikan sebuah solusi optimal.

g. Probabilitas *crossover*

Menurut referensi yang ada nilai probabilitas *crossover* berharga 0.6 untuk populasi besar di atas 100. Sementara untuk populasi kecil, *crossover* bernilai 0,9 [14]. Pada proses optimasi akan dilakukan variasi nilai probabilitas *crossover* untuk memperoleh nilai terbaik.

h. Probabilitas *mutasi*

Menurut referensi yang ada untuk populasi kecil di bawah 100 *mutation rate* berharga 0,01[14]. Pada proses optimasi nilai *probability of mutation* divariasikan untuk mendapat nilai terbaik. Tipe mutasi yang dipakai adalah mutasi satu titik.



## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA**

Bab ini menampilkan hasil simulasi dari pemodelan sistem pada bab 3 yaitu sistem distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul. Pada simulasi jaringan dilakukan analisa perhitungan aliran daya menggunakan metode *Backward-Forward Sweep* untuk mencari nilai profil tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi. Selanjutnya dilakukan pemasangan distributed generation (DG) pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan serta perbaikan nilai tegangan pada jaringan. Tahapan simulasi dan analisa aliran daya yang dilakukan pada tugas akhir ini dibuat menjadi 3 tahap yaitu:

Simulasi 1 : Simulasi dan analisa jaringan distribusi penyulang TL2DS2 tanpa pemasangan DG.

Simulasi 2 : Simulasi dan analisa jaringan distribusi penyulang TL2DS2 dengan pemasangan DG (PLTMH Aek Silang).

Simulasi 3 : Simulasi dan analisa jaringan distribusi penyulang TL2DS2 dengan pemasangan DG (PLTMH Aek Silang dan *photovoltaic*).

Pada simulasi jaringan PLTMH Aek Silang diintegrasikan pada bus 3 jaringan distribusi sesuai dengan data *single line diagram*. Sementara untuk kasus penambahan *photovoltaic array* pada jaringan distribusi dilakukan proses pencarian lokasi dan kapasitas DG yang optimal dengan menggunakan metode algoritma genetika. Proses pencarian ini bertujuan untuk mendapatkan lokasi bus serta kapasitas PV yang optimal untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan.

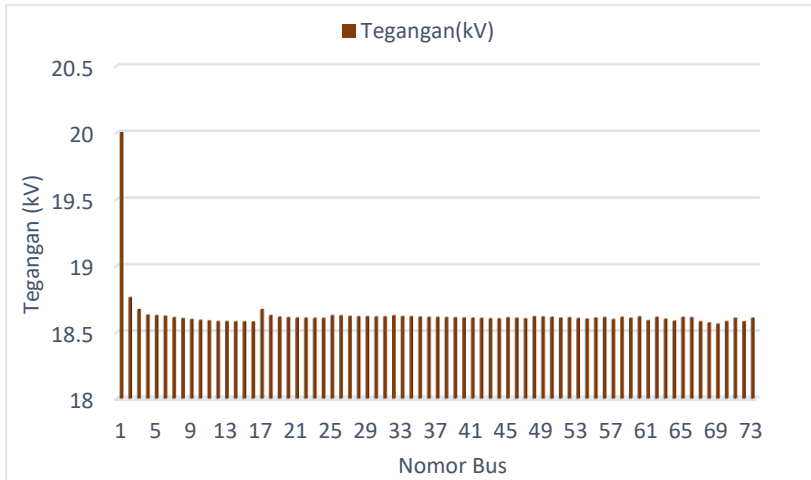
#### **4.1 Simulasi dan Analisa Penyulang 20 kV TL2DS2 Tanpa DG**

Pada bab 4.1 dilakukan analisa aliran daya pada jaringan distribusi sebelum dipasang DG (PLTMH Aek Silang dan PV). Beberapa hal yang diamati adalah nilai tegangan pada setiap bus serta rugi-rugi daya pada jaringan distribusi ketika tidak dipasang DG. Berikut tabel 4.1 menunjukkan profil tegangan bus penyulang 20 kV TL2DS2 sebelum dipasang DG.

**Tabel 4.1** Profil tegangan bus tanpa DG

Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)
1	20	26	18,62505	51	18,6069
2	18,7613	27	18,61952	52	18,60899
3	18,67171	28	18,61751	53	18,6027
4	18,63002	29	18,61697	54	18,59921
5	18,6254	30	18,61667	55	18,60716
6	18,62219	31	18,61606	56	18,61149
7	18,61025	32	18,62442	57	18,5963
8	18,60334	33	18,61851	58	18,61284
9	18,59648	34	18,61747	59	18,60585
10	18,59064	35	18,61468	60	18,61633
11	18,58533	36	18,61315	61	18,58756
12	18,58105	37	18,61221	62	18,61283
13	18,58029	38	18,6106	63	18,5987
14	18,57981	39	18,60958	64	18,58393
15	18,57929	40	18,60755	65	18,61197
16	18,5773	41	18,60645	66	18,61043
17	18,67136	42	18,60536	67	18,57984
18	18,6268	43	18,60176	68	18,57006
19	18,6143	44	18,60142	69	18,56159
20	18,6099	45	18,6094	70	18,58021
21	18,60741	46	18,60571	71	18,60575
22	18,60629	47	18,60132	72	18,57951
23	18,60518	48	18,61714	73	18,60609
24	18,60499	49	18,61521		
25	18,62575	50	18,61296		

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa bus 2 sampai bus 73 mengalami *under voltage* karena tidak memenuhi syarat *constarint* tegangan yang diijinkan yaitu pada range 0,95 pu sampai dengan 1,05 pu. Berikut gambar 4.1 menunjukkan grafik profil tegangan tiap bus.



**Gambar 4.1** Profil tegangan bus TL2DS2 tanpa DG

Selanjutnya tabel 4.2 merupakan hasil load flow pada jaringan distribusi tanpa penambahan DG (PLTMH dan PV).

**Tabel 4.2** Hasil *load flow* sebelum dipasang DG

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	77,6	-31,36	58,72	89,77
2	3	77,6	-31,36	5,55	4,3
3	4	72,29	-31,19	2,41	1,87
4	5	20,21	-29,57	0,08	0,06
5	6	20,21	-29,57	0,04	0,06
6	7	8,39	-23,59	0,07	0,09
7	8	8,39	-23,59	0,04	0,05
8	9	7,42	-22,35	0,04	0,05
9	10	6,22	-23,82	0,03	0,03
10	11	4,52	-28,54	0,02	0,02

**Tabel 4.2** Hasil *load flow* sebelum dipasang DG (lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
11	12	4,14	-30,32	0,01	0,01
12	13	1,63	-28,47	0	0
13	14	1,24	-26,79	0	0
14	15	1,05	-25,55	0	0
15	16	0,46	-33,74	0	0
3	17	0,61	-33,64	0	0
4	18	15,89	-33,65	0,03	0,04
18	19	15,89	-33,65	0,19	0,08
19	20	4,08	-33,65	0,02	0,01
20	21	3,15	-33,65	0,01	0
21	22	1,89	-33,65	0	0
22	23	1,61	-33,65	0	0
23	24	0,21	-33,65	0	0
4	25	26,95	-30,11	0,08	0,1
25	26	10,61	-24,61	0	0,01
26	27	9,08	-23,07	0,03	0,05
27	28	3,03	-13,08	0	0,01
28	29	1,26	-15,97	0	0
29	30	0,62	-15,97	0	0
30	31	0,62	-15,97	0	0
25	32	0,26	-33,67	0	0
6	33	9,05	-33,82	0,02	0,03
33	34	8,57	-33,83	0,01	0,01
34	35	8,57	-33,83	0,02	0,02
35	36	5,38	-33,92	0,01	0,01
36	37	4,6	-33,96	0	0
37	38	4,4	-33,68	0	0,01
38	39	4,17	-33,68	0	0
39	40	2,5	-33,68	0	0
40	41	0,93	-33,68	0	0
41	42	0,93	-33,68	0	0
42	43	0,58	-33,68	0	0
43	44	0,15	-33,68	0	0
19	45	6,23	-33,65	0,03	0,01
45	46	5,37	-33,65	0,02	0,01

**Tabel 4.2** Hasil *load flow* sebelum dipasang DG (lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
46	47	1,24	-33,65	0,01	0
33	48	0,47	-33,67	0	0
27	49	2,61	-33,68	0,01	0,01
49	50	1,07	-33,68	0	0
45	51	0,86	-33,65	0	0
20	52	0,93	-33,66	0	0
8	53	0,93	-33,7	0	0
46	54	4,13	-33,65	0,03	0,01
21	55	1,26	-33,65	0	0
49	56	1,05	-33,68	0	0
9	57	0,26	-20,12	0	0
35	58	0,78	-33,68	0	0
22	59	0,27	-33,65	0	0
29	60	0,64	-15,97	0	0
10	61	0,56	-13,42	0	0
36	62	0,78	-33,68	0	0
23	63	0,91	-33,65	0,01	0
11	64	0,4	-10,05	0	0
37	65	0,2	-39,88	0	0
38	66	0,23	-33,68	0	0
12	67	1	-33,73	0	0
67	68	0,45	-33,73	0	0
68	69	0,45	-33,73	0	0
13	70	0,39	-33,74	0	0
39	71	0,81	-33,68	0	0
14	72	0,19	-33,74	0	0
40	73	0,88	-33,68	0	0

Pada tabel 4.2 diketahui total rugi daya aktif pada jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 sebesar 67,64 kW. Nilai rugi daya dipengaruhi oleh besar hambatan serta arus pada saluran ( $P = I^2.R$ ).

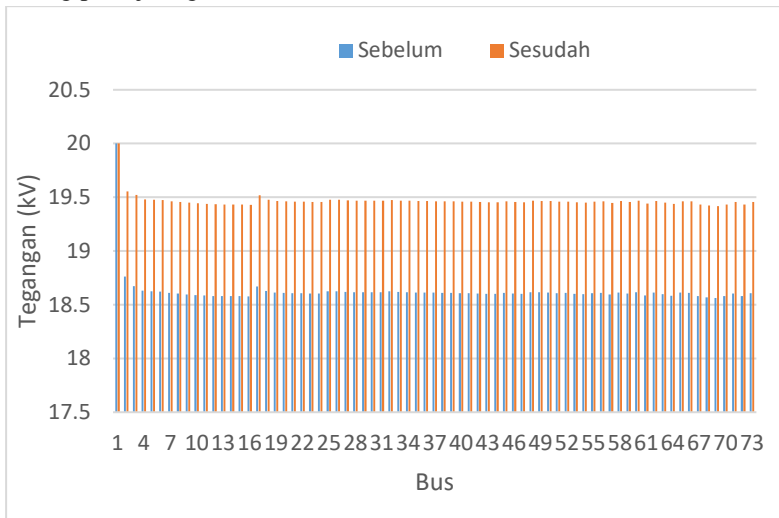
## 4.2 Integrasi PLTMH Aek Silang pada Sistem

Pada bab ini dilakukan analisa aliran daya pada jaringan distribusi setelah dihubungkannya PLTMH Aek Silang dengan kapasitas 750 kW pada bus 3 jaringan distribusi. Hal itu bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan PLTMH Aek Silang terhadap tegangan tiap bus dan rugi daya yang terjadi pada jaringan. Berikut tabel 4.3 menunjukkan profil tegangan bus penyulang 20 kV TL2DS2 setelah dihubungkan dengan PLTMH Aek Silang.

**Tabel 4.3** Profil tegangan bus setelah pemasangan PLTMH Aek Silang

Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)
1	20	26	19,47578	51	19,45844
2	19,55367	27	19,47042	52	19,46049
3	19,52043	28	19,46848	53	19,45471
4	19,48056	29	19,46796	54	19,45116
5	19,47614	30	19,46767	55	19,45878
6	19,4731	31	19,46709	56	19,46262
7	19,46185	32	19,47515	57	19,44869
8	19,45533	33	19,46958	58	19,46418
9	19,44887	34	19,46858	59	19,45757
10	19,44339	35	19,46591	60	19,46733
11	19,4384	36	19,46445	61	19,44053
12	19,43434	37	19,46356	62	19,46415
13	19,43362	38	19,46202	63	19,45087
14	19,43318	39	19,46105	64	19,43714
15	19,4327	40	19,45911	65	19,46334
16	19,43092	41	19,45807	66	19,46185
17	19,52008	42	19,45703	67	19,4332
18	19,47748	43	19,45373	68	19,42418
19	19,46555	44	19,45347	69	19,41637
20	19,46136	45	19,46086	70	19,43355
21	19,45902	46	19,45733	71	19,45732
22	19,45797	47	19,45307	72	19,43289
23	19,45692	48	19,46832	73	19,45768
24	19,45675	49	19,46623		
25	19,47645	50	19,46405		

Dari tabel 4.3 dapat dilihat nilai profil tegangan tiap bus meningkat akibat pemasangan PLTMH Aek Silang pada jaringan. Setiap nilai tegangan pada bus jaringan diatas sudah berada diatas 19 kV sehingga tidak ada bus yang mengalami *undervoltage*. Berikut ini gambar 4.2 menunjukkan perbandingan profil tegangan setiap bus sebelum pemasangan PLTMH Aek Silang dan sesudah penambahan PLTMH Aek Silang pada jaringan.



**Gambar 4.2** Profil tegangan bus sebelum dan sesudah dipasang PLTMH

Berikut tabel 4.4 menunjukkan hasil perhitungan aliran daya jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 setelah pemasangan PLTMH Aek Silang.

**Tabel 4.4** Hasil *load flow* setelah pemasangan PLTMH Aek Silang

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	29,16	-26,45	8,29	12,67
2	3	29,16	-26,45	0,78	0,61
3	4	69,16	-30,03	2,2	1,71
4	5	19,27	-28,15	0,07	0,05
5	6	19,27	-28,15	0,04	0,05

**Tabel 4.4** Hasil *load flow* setelah pemasangan PLTMH Aek Silang (lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
6	7	7,98	-21,64	0,07	0,08
7	8	7,98	-21,64	0,04	0,05
8	9	7,05	-20,5	0,03	0,04
9	10	5,9	-21,84	0,02	0,03
10	11	4,28	-26,52	0,01	0,02
11	12	3,94	-28,11	0,01	0,01
12	13	1,54	-26,59	0	0
14	15	0,99	-22,13	0	0
15	16	0,41	-30,63	0	0
3	17	0,6	-31,75	0	0
4	18	15,16	-32,5	0,03	0,04
18	19	15,16	-32,5	0,17	0,07
19	20	3,88	-32,81	0,02	0,01
20	21	2,98	-33,12	0,01	0
21	22	1,78	-34,03	0	0
22	23	1,53	-33,42	0	0
23	24	0,19	-34,49	0	0
4	25	25,89	-29,11	0,07	0,09
25	26	10,25	-23,53	0	0,01
26	27	8,77	-22,13	0,03	0,05
27	28	2,93	-11,94	0	0,01
28	29	1,22	-15,45	0	0
29	30	0,59	-16,09	0	0
30	31	0,59	-16,09	0	0
25	32	0,26	-37,68	0	0
6	33	8,65	-32,72	0,02	0,03
33	34	8,21	-32,53	0,01	0,01
34	35	8,21	-32,53	0,01	0,02
35	36	5,16	-31,99	0,01	0,01
36	37	4,42	-31,56	0	0
37	38	4,24	-31,43	0	0,01
38	39	4,01	-31,67	0	0
39	40	2,4	-31,79	0	0
40	41	0,87	-28,9	0	0



**Tabel 4.4** Hasil *load flow* setelah pemasangan PLTMH Aek Silang (lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
41	42	0,87	-28,9	0	0
42	43	0,53	-29,88	0	0
43	44	0,11	-27,39	0	0
19	45	5,95	-32,02	0,03	0,01
45	46	5,12	-32,26	0,02	0,01
46	47	1,2	-31,76	0	0
33	48	0,44	-36,35	0	0
27	49	2,54	-32,59	0,01	0,01
49	50	1,04	-33,73	0	0
45	51	0,83	-30,55	0	0
20	52	0,9	-31,77	0	0
8	53	0,9	-31,81	0	0
46	54	3,92	-32,41	0,02	0,01
21	55	1,2	-31,77	0	0
49	56	1,01	-31,29	0	0
9	57	0,26	-12,17	0	0
35	58	0,74	-34,51	0	0
22	59	0,26	-37,67	0	0
29	60	0,64	-14,87	0	0
10	61	0,52	-12,18	0	0
36	62	0,74	-34,51	0	0
23	63	0,86	-33,53	0	0
11	64	0,36	-9	0	0
37	65	0,19	-34,51	0	0
38	66	0,23	-27,39	0	0
12	67	0,95	-30,23	0	0
67	68	0,42	-30,61	0	0
68	69	0,42	-30,61	0	0
13	70	0,37	-34,57	0	0
39	71	0,78	-32,44	0	0
14	72	0,19	-34,57	0	0
40	73	0,86	-33,56	0	0

Dari tabel 4.3 dan 4.4 dapat disimpulkan bahwa PLTMH Aek Silang dengan kapasitas 0,75 MW yang dipasang pada bus 3 dapat secara signifikan menurunkan rugi-rugi daya jaringan serta memperbaiki profil tegangan. Pengintegrasian PTMH Aek Silang pada jaringan distribusi penyulang TL2DS2 telah menurunkan nilai total rugi daya aktif menjadi 12,082 kW atau turun sebesar 55,56 kW apabila dibandingkan dengan sebelum pemasangan DG.

### 4.3 Integrasi PLTMH Aek Silang dan Photovoltaic (PV) pada Sistem

Pada bab 4.2 sudah dibahas mengenai pengaruh pemasangan PLTMH pada bus 3 jaringan. Selanjutnya dilakukan perencanaan penambahan *photovoltaic array* di dua lokasi bus pada jaringan dimana penentuan lokasi dan kapasitas PV tersebut dilakukan dengan metode optimasi algoritma genetika (GA). Fungsi objektif yang dipakai ditujukan untuk mengurangi rugi daya aktif pada jaringan. Batasan daya keluaran DG sesuai dengan  $\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG_i} \leq \sum_{j=i}^{N_l} P_D(j)$  sehingga daya keluaran maksimal untuk PV *array* adalah 0,508 MW. Untuk mendapatkan hasil optimasi yang terbaik yaitu rugi daya terkecil dilakukan beberapa kali percobaan dengan memvariasikan beberapa parameter GA.

#### 4.3.1 Seleksi Parameter Algoritma Genetika

Dalam algoritma genetika terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil optimasi. Parameter-parameter GA tersebut akan divariasikan untuk mendapatkan hasil terbaik yaitu rugi daya paling kecil. Parameter pertama yang divariasikan adalah jumlah generasi (*maxgen*). Pada kasus ini jumlah generasi akan divariasikan dari 50 generasi sampai 200 generasi dimana penambahan ditetapkan setiap 50 generasi. Selanjutnya parameter yang divariasikan adalah jumlah populasi (*popsize*). Pada kasus ini jumlah populasi akan divariasikan dari 50 populasi sampai 200 jumlah populasi dengan langkah penambahan setiap 50 populasi. Selanjutnya variasi parameter yang dilakukan adalah variasi probabilitas *crossover* dan probabilitas mutasi. Pada kasus ini probabilitas *crossover* divariasikan dari 0,5 sampai 0,95 dengan langkah penambahan 0,15. Sedangkan probabilitas mutasi divariasikan dari 0,05 sampai

0,00005. Parameter lain seperti jumlah DG ditetapkan sama yaitu berjumlah 2 DG. Constraint total daya DG tidak lebih dari jumlah total beban pada jaringan distribusi TL2DS2. Berikut ini tabel 4.5 menunjukkan variasi parameter GA pada kasus penentuan lokasi dan ukuran DG untuk minimasi rugi daya pada jaringan.

**Tabel 4.5** Variasi parameter GA

No.	Max Gen	Pop Size	Cross Over	Mutation	Losses (kW)
1	50	50	0,95	0,005	3,1948
	100	50	0,95	0,005	3,1948
	150	50	0,95	0,005	3,1812
	200	50	0,95	0,005	3,1812
2	150	100	0,95	0,005	3,1916
	150	150	0,95	0,005	3,1812
	150	200	0,95	0,005	3,1895
3	150	50	0,8	0,005	3,1812
	150	50	0,65	0,005	3,2431
	150	50	0,5	0,005	3,1916
4	150	50	0,95	0,05	3,1812
	150	50	0,95	0,0005	3,2635
	150	50	0,95	0,00005	3,2635

Dari tabel 4.5 dapat dilihat pengaruh nilai parameter terhadap hasil yang ingin dicapai sesuai fungsi objektif. Hasil optimasi yang didapat pada tabel 4.5 tidak begitu berbeda hasilnya. Rugi daya terkecil yang diperoleh adalah 3,1812 kW sementara rugi daya terbesar yaitu 3,2635 kW. Sehingga ditentukan parameter terbaik yaitu :

1. Maxgen =150
2. Popsiz =50
3. Probabilitas crossover =0,95
4. Probabilitas mutasi =0,005

#### 4.3.2 Penentuan Lokasi dan Ukuran *Photovoltaic Array*

Setelah dilakukan seleksi parameter maka didapatkan lokasi serta kapasitas PV *array* yang paling tepat untuk meminimalkan rugi daya pada jaringan distribusi TL2DS2. Berikut tabel 4.6 menunjukkan hasil optimasi pemasangan DG pada jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 dengan menggunakan metode algoritma genetika.

**Tabel 4.6** Solusi optimasi algoritma genetika

DG	Letak Bus	Kapasitas DG (MW)
1	10	0,1778
2	19	0,3175
Total Daya Keluaran DG		0,4953

Dari tabel 4.6 posisi bus dan kapasitas PV yang didapat adalah bus 10 dengan kapasitas 0,1778 MW dan bus 19 dengan kapasitas 0,3175 MW. Hal tersebut berarti daya total DG yang telah dipasang pada jaringan adalah 1,2453 MW. Sehingga kapasitas total DG sudah memenuhi nilai *constraint* injek daya aktif dimana batas maksimalnya adalah 1,258 MW.

Setelah itu dilakukan perhitungan load flow untuk melihat pengaruh penambahan PV pada sistem. Berikut tabel 4.7 menunjukkan profil tegangan tiap bus setelah penambahan PV *array* pada jaringan.

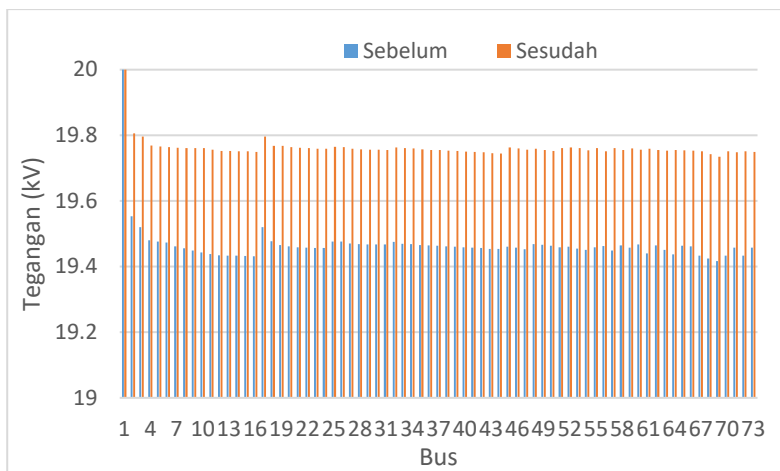
**Tabel 4.7** Profil tegangan setelah penambahan PLTMH dan PV

Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)
1	20	26	19,7642	51	19,7611
2	19,8062	27	19,7589	52	19,7631
3	19,7966	28	19,757	53	19,7606
4	19,7689	29	19,7565	54	19,7539
5	19,7662	30	19,7562	55	19,7614
6	19,7642	31	19,7556	56	19,7512
7	19,7623	32	19,7635	57	19,7607
8	19,7612	33	19,7607	58	19,7554
9	19,7609	34	19,7597	59	19,7602
10	19,7615	35	19,7571	60	19,7558

**Tabel 4.7** Profil tegangan setelah penambahan PLTMH dan PV (lanjutan)

Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)	Bus	Tegangan (kV)
11	19,7566	36	19,7556	61	19,7587
12	19,7526	37	19,7548	62	19,7553
13	19,7519	38	19,7532	63	19,7536
14	19,7515	39	19,7523	64	19,7554
15	19,751	40	19,7504	65	19,7545
16	19,7493	41	19,7493	66	19,7531
17	19,7963	42	19,7483	67	19,7515
18	19,768	43	19,7451	68	19,7426
19	19,7681	44	19,7448	69	19,7349
20	19,764	45	19,7635	70	19,7518
21	19,7617	46	19,76	71	19,7486
22	19,7606	47	19,7558	72	19,7512
23	19,7596	48	19,7594	73	19,749
24	19,7594	49	19,7548		
25	19,7648	50	19,7526		

Dari tabel 4.7 dapat dilihat bahwa penambahan *PV array* pada bus 10 dan bus 19 pada sistem berdampak meningkatkan profil tegangan tiap bus menjadi diatas 19,5 kV. Apabila hasil tegangan diplot dalam bentuk grafik maka akan terlihat kenaikan tegangan setiap bus dibandingkan dengan kondisi sebelumnya yaitu ketika sistem hanya dihubungkan dengan PLTMH. Berikut gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan profil tegangan sebelum dan setelah dipasang *PV array*.



**Gambar 4.3** Profil tegangan sebelum dan sesudah dipasang PV array

Selanjutnya pada tabel 4.8 ditampilkan hasil perhitungan aliran daya setelah penambahan PLTMH dan PV array pada jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2.

**Tabel 4.8** Hasil *load flow* setelah pemasangan PLTMH dan PV

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
1	2	12,47	-85,89	1,52	2,32
2	3	12,47	-85,89	0,14	0,11
3	4	47,85	-43,67	1,06	0,82
4	5	11,73	-47,59	0,03	0,02
5	6	11,73	-47,59	0,01	0,02
6	7	3,24	-120,36	0,01	0,01
7	8	3,24	-120,36	0,01	0,01
8	9	3,39	-136,25	0,01	0,01
9	10	4,14	-149,49	0,01	0,01
10	11	4,21	-25,25	0,01	0,02
11	12	3,87	-26,85	0,01	0,01
12	13	1,52	-25,32	0	0
13	14	1,16	-22,81	0	0
14	15	0,98	-20,86	0	0

**Tabel 4.8** Hasil *load flow* setelah pemasangan PLTMH dan PV (lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
15	16	0,41	-29,36	0	0
3	17	0,59	-30,62	0	0
4	18	8,53	-112,81	0,01	0,01
18	19	8,53	-112,81	0,05	0,02
19	20	3,82	-31,62	0,01	0,01
20	21	2,93	-31,94	0,01	0
21	22	1,75	-32,85	0	0
22	23	1,5	-32,24	0	0
23	24	0,18	-33,31	0	0
4	25	25,52	-27,95	0,07	0,09
25	26	10,1	-22,37	0	0,01
26	27	8,64	-20,97	0,03	0,05
27	28	2,89	-10,78	0	0,01
28	29	1,2	-14,29	0	0
29	30	0,58	-14,93	0	0
30	31	0,58	-14,93	0	0
25	32	0,25	-36,52	0	0
6	33	8,53	-31,55	0,02	0,02
33	34	8,09	-31,36	0,01	0,01
34	35	8,09	-31,36	0,01	0,02
35	36	5,09	-30,82	0	0,01
36	37	4,36	-30,4	0	0
37	38	4,18	-30,27	0	0,01
38	39	3,95	-30,5	0	0
39	40	2,36	-30,62	0	0
40	41	0,86	-27,73	0	0
41	42	0,86	-27,73	0	0
42	43	0,52	-28,71	0	0
43	44	0,11	-26,22	0	0
19	45	5,86	-30,84	0,03	0,01
45	46	5,04	-31,07	0,02	0,01
46	47	1,18	-30,58	0	0
33	48	0,44	-35,19	0	0
27	49	2,5	-31,42	0,01	0,01
49	50	1,03	-32,57	0	0
45	51	0,82	-29,37	0	0

**Tabel 4.8** Hasil *load flow* setelah pemasangan PLTMH dan PV (lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	Arus		Rugi Daya	
		Amp	Degree	kW	kVAR
20	52	0,89	-30,58	0	0
8	53	0,89	-30,59	0	0
46	54	3,86	-31,22	0,02	0,01
21	55	1,18	-30,58	0	0
49	56	1	-30,13	0	0
9	57	0,26	-10,92	0	0
35	58	0,73	-33,34	0	0
22	59	0,25	-36,49	0	0
29	60	0,63	-13,71	0	0
10	61	0,52	-10,91	0	0
36	62	0,73	-33,35	0	0
23	63	0,84	-32,35	0	0
11	64	0,36	-7,74	0	0
37	65	0,18	-33,35	0	0
38	66	0,23	-26,22	0	0
12	67	0,93	-28,97	0	0
67	68	0,41	-29,35	0	0
68	69	0,41	-29,35	0	0
13	70	0,37	-33,3	0	0
39	71	0,77	-31,27	0	0
14	72	0,18	-33,3	0	0
40	73	0,84	-32,4	0	0

Dari tabel 4.8 dapat dilihat optimasi GA untuk penambahan PV mengakibatkan terjadi penurunan rugi daya nyata menjadi 3,1812 kW dari 12,082 kW ketika sistem hanya dihubungkan dengan PLTMH Aek Silang.

#### 4.4 Analisa Aliran daya Sebelum dan Sesudah Dipasang DG (PLTMH dan PV array)

Setelah proses optimasi GA selesai maka diperoleh hasil lokasi serta kapasitas PV array. Selanjutnya dilakukan perbandingan rugi daya dan profil tegangan pada kondisi sistem sebelum dan sesudah dipasang DG (PLTMH dan PV). Berikut tabel 4.9 menunjukkan lokasi serta



kapasitas semua DG yang terhubung pada jaringan distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul.

**Tabel 4.9** Lokasi dan kapasitas DG keseluruhan

DG	Letak Bus	Daya Keluaran (MW)
PLTMH	3	0,75
PV array	10	0,1778
PV array	19	0,3175
Total Daya Keluaran		1,2453

Selanjutnya dilakukan perbandingan hasil profil tegangan pada jaringan sebelum dan sesudah diintegrasikan dengan DG (PLTMH dan PV array). Berikut tabel 4.10 merupakan perbandingan profil tegangan sebelum dan sesudah jaringan diintegrasikan dengan DG (PLTMH dan PV array).

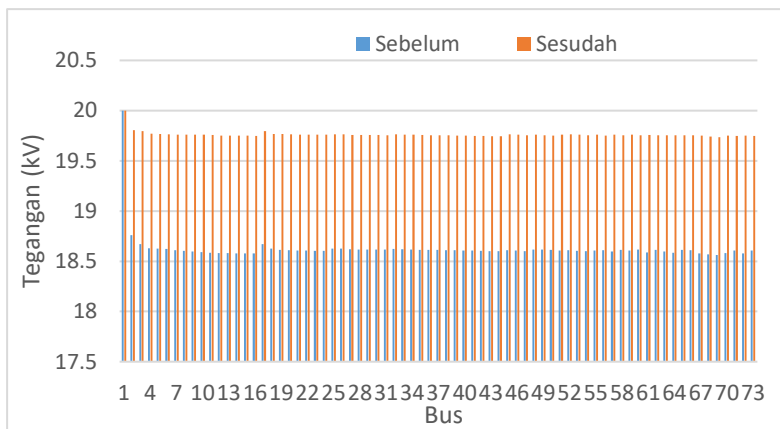
**Tabel 4.10** Tegangan sebelum dan sesudah dipasang PLTMH dan PV

Bus	Tanpa DG	Dengan DG	Bus	Tanpa DG	Dengan DG
	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)		Tegangan (kV)	Tegangan (kV)
1	20	20	38	18,6106	19,7532
2	18,7613	19,8062	39	18,60958	19,7523
3	18,67171	19,7966	40	18,60755	19,7504
4	18,63002	19,7689	41	18,60645	19,7493
5	18,6254	19,7662	42	18,60536	19,7483
6	18,62219	19,7642	43	18,60176	19,7451
7	18,61025	19,7623	44	18,60142	19,7448
8	18,60334	19,7612	45	18,6094	19,7635
9	18,59648	19,7609	46	18,60571	19,76
10	18,59064	19,7615	47	18,60132	19,7558
11	18,58533	19,7566	48	18,61714	19,7594
12	18,58105	19,7526	49	18,61521	19,7548
13	18,58029	19,7519	50	18,61296	19,7526
14	18,57981	19,7515	51	18,6069	19,7611
15	18,57929	19,751	52	18,60899	19,7631
16	18,5773	19,7493	53	18,6027	19,7606
17	18,67136	19,7963	54	18,59921	19,7539
18	18,6268	19,768	55	18,60716	19,7614
19	18,6143	19,7681	56	18,61149	19,7512

**Tabel 4.10** Tegangan sebelum dan sesudah dipasang PLTMH dan PV (lanjutan)

Bus	Tanpa DG	Dengan DG	Bus	Tanpa DG	Dengan DG
	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)		Tegangan (kV)	Tegangan (kV)
20	18,6099	19,764	57	18,5963	19,7607
21	18,60741	19,7617	58	18,61284	19,7554
22	18,60629	19,7606	59	18,60585	19,7602
23	18,60518	19,7596	60	18,61633	19,7558
24	18,60499	19,7594	61	18,58756	19,7587
25	18,62575	19,7648	62	18,61283	19,7553
26	18,62505	19,7642	63	18,5987	19,7536
27	18,61952	19,7589	64	18,58393	19,7554
28	18,61751	19,757	65	18,61197	19,7545
29	18,61697	19,7565	66	18,61043	19,7531
30	18,61667	19,7562	67	18,57984	19,7515
31	18,61606	19,7556	68	18,57006	19,7426
32	18,62442	19,7635	69	18,56159	19,7349
33	18,61851	19,7607	70	18,58021	19,7518
34	18,61747	19,7597	71	18,60575	19,7486
35	18,61468	19,7571	72	18,57951	19,7512
36	18,61315	19,7556	73	18,60609	19,749
37	18,61221	19,7548			

Dari tabel 4.10 dapat dilihat setelah dilakukan pemasangan DG (PLTMH dan PV *array*), nilai tegangan menjadi normal dan mendekati 20 kV. Hal ini juga berarti pemasangan DG (PLTMH dan PV) pada jaringan distribusi TL2DS2 sudah memenuhi nilai *constraint* tegangan yang dipakai. Selanjutnya nilai tegangan pada tabel 4.10 diplot ke dalam grafik. Berikut gambar 4.4 menunjukkan perbandingan nilai tegangan ketika sebelum dan sesudah dipasang DG apabila di plot dalam bentuk grafik.



**Gambar 4.4** Profil tegangan sebelum dan sesudah dipasang PLTMH dan PV array

Selanjutnya dilakukan perbandingan nilai rugi daya pada sistem ketika belum dihubungkan dengan DG dan setelah dihubungkan dengan DG (PLTMH dan PV array). Perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah ini.

**Tabel 4.11** Rugi daya sebelum dan sesudah dipasang PLTMH dan PV

Dari bus	Ke bus	Sebelum		Sesudah	
		P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
1	2	58,72	89,77	1,52	2,32
2	3	5,55	4,3	0,14	0,11
3	4	2,41	1,87	1,06	0,82
4	5	0,08	0,06	0,03	0,02
5	6	0,04	0,06	0,01	0,02
6	7	0,07	0,09	0,01	0,01
7	8	0,04	0,05	0,01	0,01
8	9	0,04	0,05	0,01	0,01
9	10	0,03	0,03	0,01	0,01
10	11	0,02	0,02	0,01	0,02
11	12	0,01	0,01	0,01	0,01
12	13	0	0	0	0
13	14	0	0	0	0

**Tabel 4.11** Rugi daya sebelum dan sesudah dipasang PLTMH dan PV (lanjutan)

Dari bus	Ke bus	Sebelum		Sesudah	
		P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
14	15	0	0	0	0
15	16	0	0	0	0
3	17	0	0	0	0
4	18	0,03	0,04	0,01	0,01
18	19	0,19	0,08	0,05	0,02
19	20	0,02	0,01	0,01	0,01
20	21	0,01	0	0,01	0
21	22	0	0	0	0
22	23	0	0	0	0
23	24	0	0	0	0
4	25	0,08	0,1	0,07	0,09
25	26	0	0,01	0	0,01
26	27	0,03	0,05	0,03	0,05
27	28	0	0,01	0	0,01
28	29	0	0	0	0
29	30	0	0	0	0
30	31	0	0	0	0
25	32	0	0	0	0
6	33	0,02	0,03	0,02	0,02
33	34	0,01	0,01	0,01	0,01
34	35	0,02	0,02	0,01	0,02
35	36	0,01	0,01	0	0,01
36	37	0	0	0	0
37	38	0	0,01	0	0,01
38	39	0	0	0	0
39	40	0	0	0	0
40	41	0	0	0	0
41	42	0	0	0	0
42	43	0	0	0	0
43	44	0	0	0	0
19	45	0,03	0,01	0,03	0,01
45	46	0,02	0,01	0,02	0,01
46	47	0,01	0	0	0
33	48	0	0	0	0

**Tabel 4.11** Rugi daya sebelum dan sesudah dipasang PLTMH dan PV (lanjutan)

Dari bus	Ke bus	Sebelum		Sesudah	
		P (kW)	Q (kVAR)	P (kW)	Q (kVAR)
27	49	0,01	0,01	0,01	0,01
49	50	0	0	0	0
45	51	0	0	0	0
20	52	0	0	0	0
8	53	0	0	0	0
46	54	0,03	0,01	0,02	0,01
21	55	0	0	0	0
49	56	0	0	0	0
9	57	0	0	0	0
35	58	0	0	0	0
22	59	0	0	0	0
29	60	0	0	0	0
10	61	0	0	0	0
36	62	0	0	0	0
23	63	0,01	0	0	0
11	64	0	0	0	0
37	65	0	0	0	0
38	66	0	0	0	0
12	67	0	0	0	0
67	68	0	0	0	0
68	69	0	0	0	0
13	70	0	0	0	0
39	71	0	0	0	0
14	72	0	0	0	0
40	73	0	0	0	0

Dari tabel 4.11 dapat dilihat bahwa pemasangan DG pada sistem telah menurunkan rugi-rugi daya aktif menjadi 3,1812 kW dari 67,64 kW pada kondisi sebelumnya ketika sistem belum dipasang DG.

## 4.5 Validasi Perhitungan Menggunakan ETAP 12.6

Selanjutnya dilakukan validasi data penghitungan aliran daya menggunakan *software* ETAP 12.6. *Software* ETAP 12.6 menggunakan metode Newton Raphson dalam penghitungan aliran daya. Validasi bertujuan untuk mengetahui nilai *error* atau selisih penghitungan antara *software* MATLAB dan ETAP 12.6. Berikut tabel 4.12 menunjukkan hasil penghitungan aliran daya ketika tanpa DG menggunakan *software* ETAP 12.6 dan MATLAB.

**Tabel 4.12** Validasi aliran daya tanpa DG

Dari bus	Ke bus	ETAP		MATLAB	
		kW	kVAR	kW	kVAR
1	2	58,77	89,85	58,72	89,77
2	3	5,56	4,31	5,55	4,3
3	4	2,41	1,87	2,41	1,87
4	5	0,08	0,06	0,08	0,06
5	6	0,04	0,06	0,04	0,06
6	7	0,07	0,09	0,07	0,09
7	8	0,04	0,05	0,04	0,05
8	9	0,04	0,05	0,04	0,05
9	10	0,03	0,03	0,03	0,03
10	11	0,02	0,02	0,02	0,02
11	12	0,01	0,01	0,01	0,01
12	13	0	0	0	0
13	14	0	0	0	0
14	15	0	0	0	0
15	16	0	0	0	0
3	17	0	0	0	0
4	18	0,03	0,04	0,03	0,04
18	19	0,19	0,08	0,19	0,08
19	20	0,02	0,01	0,02	0,01
20	21	0,01	0	0,01	0
21	22	0	0	0	0
22	23	0	0	0	0
23	24	0	0	0	0
4	25	0,08	0,1	0,08	0,1
25	26	0	0,01	0	0,01
26	27	0,03	0,05	0,03	0,05
27	28	0	0,01	0	0,01
28	29	0	0	0	0
29	30	0	0	0	0
30	31	0	0	0	0
25	32	0	0	0	0
6	33	0,02	0,03	0,02	0,03

**Tabel 4.12** Validasi aliran daya tanpa DG (lanjutan)

Dari bus	Ke bus	ETAP		MATLAB	
		kW	kVAR	kW	kVAR
33	34	0,01	0,01	0,01	0,01
34	35	0,02	0,02	0,02	0,02
35	36	0,01	0,01	0,01	0,01
36	37	0	0	0	0
37	38	0	0,01	0	0,01
38	39	0	0	0	0
39	40	0	0	0	0
40	41	0	0	0	0
41	42	0	0	0	0
42	43	0	0	0	0
43	44	0	0	0	0
19	45	0,03	0,01	0,03	0,01
45	46	0,02	0,01	0,02	0,01
46	47	0,01	0	0,01	0
33	48	0	0	0	0
27	49	0,01	0,01	0,01	0,01
49	50	0	0	0	0
45	51	0	0	0	0
20	52	0	0	0	0
8	53	0	0	0	0
46	54	0,03	0,01	0,03	0,01
21	55	0	0	0	0
49	56	0	0	0	0
9	57	0	0	0	0
35	58	0	0	0	0
22	59	0	0	0	0
29	60	0	0	0	0
10	61	0	0	0	0
36	62	0	0	0	0
23	63	0,01	0	0,01	0
11	64	0	0	0	0
37	65	0	0	0	0
38	66	0	0	0	0
12	67	0	0	0	0
67	68	0	0	0	0
68	69	0	0	0	0
13	70	0	0	0	0
39	71	0	0	0	0
14	72	0	0	0	0
40	73	0	0	0	0

Dari tabel 4.12 diatas dapat dilihat bahwa pada perhitungan aliran daya diatas, total rugi-rugi daya aktif jaringan distribusi penyulang TL2DS2 versi *software* ETAP 2.16 adalah 67,62 kW. Sedangkan total rugi-rugi daya aktif jaringan distribusi penyulang TL2DS2 versi MATLAB adalah 67,64 kW. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbedaan hasil perhitungan rugi-rugi daya jaringan oleh kedua *software* tersebut terpaut selisih 0,02 kW. Berikut tabel 4.13 menunjukkan profil tegangan versi ETAP dan MATLAB.

**Tabel 4.13** Validasi profil tegangan tanpa DG

Bus	ETAP	MATLAB	Bus	ETAP	MATLAB
2	18,761	18,7613	38	18,61	18,6106
3	18,671	18,67171	39	18,609	18,60958
4	18,629	18,63002	40	18,607	18,60755
5	18,625	18,6254	41	18,606	18,60645
6	18,622	18,62219	42	18,605	18,60536
7	18,61	18,61025	43	18,601	18,60176
8	18,603	18,60334	44	18,6	18,60142
9	18,596	18,59648	45	18,609	18,6094
10	18,59	18,59064	46	18,605	18,60571
11	18,585	18,58533	47	18,601	18,60132
12	18,58	18,58105	48	18,616	18,61714
13	18,58	18,58029	49	18,615	18,61521
14	18,579	18,57981	50	18,612	18,61296
15	18,579	18,57929	51	18,606	18,6069
16	18,577	18,5773	52	18,608	18,60899
17	18,671	18,67136	53	18,602	18,6027
18	18,626	18,6268	54	18,599	18,59921
19	18,614	18,6143	55	18,607	18,60716
20	18,609	18,6099	56	18,611	18,61149
21	18,607	18,60741	57	18,596	18,5963
22	18,606	18,60629	58	18,612	18,61284
23	18,605	18,60518	59	18,605	18,60585
24	18,604	18,60499	60	18,616	18,61633
25	18,625	18,62575	61	18,587	18,58756
26	18,624	18,62505	62	18,612	18,61283



**Tabel 4.13** Validasi profil tegangan tanpa DG (lanjutan)

Bus	ETAP	MATLAB	Bus	ETAP	MATLAB
27	18,619	18,61952	63	18,598	18,5987
28	18,617	18,61751	64	18,583	18,58393
29	18,616	18,61697	65	18,611	18,61197
30	18,616	18,61667	66	18,61	18,61043
31	18,615	18,61606	67	18,579	18,57984
32	18,624	18,62442	68	18,569	18,57006
33	18,618	18,61851	69	18,561	18,56159
34	18,617	18,61747	70	18,58	18,58021
35	18,614	18,61468	71	18,605	18,60575
36	18,612	18,61315	72	18,579	18,57951
37	18,612	18,61221	73	18,605	18,60609

Dari tabel 4.13 dapat dilihat bahwa nilai profil tegangan jaringan distribusi penyalang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul versi software ETAP dan MATLAB tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan distribusi tersebut sudah disimulasikan dengan benar.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari simulasi pada sistem distribusi penyulang 20 kV TL2DS2 Ranting Dolok Sanggul dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Total rugi daya aktif pada jaringan distribusi TL2DS2 tanpa pemasangan DG didapatkan sebesar 67,64 kW dan terjadi *undervoltage* pada bus 2 sampai bus 73.
2. Total rugi daya aktif pada jaringan distribusi TL2DS2 setelah dipasang PLTMH Aek Silang dengan kapasitas 750 kW pada bus 3 berkurang menjadi 12,082 kW atau turun sebesar 55,56 kW dan tidak terjadi lagi *undervoltage*.
3. Hasil optimasi peletakan dan kapasitas dua lokasi PV *array* tambahan ditentukan pada bus 10 dengan kapasitas 0,1778 MW dan bus 19 dengan kapasitas 0,3175 MW.
4. Total rugi daya aktif pada jaringan distribusi TL2DS2 setelah pemasangan DG (PLTMH Aek Silang dan PV *array*) adalah 3,1812 kW.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan studi lebih banyak tentang penempatan DG pada jaringan distribusi dengan teknik optimasi yang berbeda.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai pemanfaatan DG dengan memperhatikan faktor lain seperti keandalan, sistem proteksi, dan faktor ekonomi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Simamora, Optimasi Rekonfigurasi Jaringan Pada Kondisi Beban Yang Berubah Terhadap Waktu Menggunakan Algoritma Binary Particle Swarm Optimization, Surabaya: Jurusan Teknik Elektro ITS, 2017.
- [2] G. A. L. S. Thomas Ackerman, "Distributed Generation : a definition," ELSEVIER, p.1-3,2000.
- [3] T.Ackermann, G.Andersson, and L.Soder, "Distributed generation: a definition," Electric Power Systems Research, vol. 57, no. 3, pp. 195– 204, 2001.
- [4] Purchala.K,Belmans., "Distributed Generationand The Grid Integration Issues," p.4.
- [5] A. Yadav dan L. Srivastava, "Optimal placement of distributed generation: An overview and key issues," Power Signals Control and Computations (EPSCICON), 2014 International Conference, 2014, pp. 1–6.
- [6] M. Zulhisham, Optimal Allocation and Sizing of Distributed Generation Using Particle Swarm Optimization in DIstribution System, Malaysia: Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 2013.
- [7] J. Stevenson, Power System Analysis, New York: MacGrawHilc, 1984.
- [8] B. A. S. Pires, C. B. M., dan J. T. de Oliveira, "Maximising Penetration Of Active Power By Distributed Generation On A Real System," 21<sup>st</sup> International Conference Electrical Distribution, Juni, 2011.
- [9] H. L. Willis, "Analytical methods and rules of thumb for modeling DG-distribution interaction," Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, 2000, vol. 3, pp. 1643–1644.
- [10] K. Liu, W. Sheng, and S. Cheng, "Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation," IET Generation Transmission & Distribution., vol. 8, no. 2, pp. 261–272, Pebruari, 2014.
- [11] Erwin Prawira, Ontoseno, dan Ni Ketut, "Optimasi Penentuan Lokasi Kapasitor dan Distributed Generation (DG) Dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Genetic Algorithm (GA)." Jurnal Teknik Elektro ITS, Juni 2016.
- [12] H. Saadat, *Power System Analysis*. WCB McGraw-Hill, 1999.

- [13] F.A. Viawan," Steady State Operation and Control of Power Distribution System in the Presence of Distribution Generation," Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2006.
- [14] Yuri V. Makarov, Zhao Yang, Dong, and David J.Hill. "A General Method for Small Signal Stability Analysis." IEEE Transc. On Power System, Vol.13.No.3. August 1998.pp.782-788.
- [15] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, and D. P. Kothari, "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 461–472, Dec. 2014.

## LAMPIRAN

Validasi ETAP Aliran daya setelah pemasangan DG (PLTMH dan PV)

CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd
ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	% Drop To	in Vmag
Cable 1-2	0,015	0,250	-0,013	-0,248	1,5	2,3	100,0	99,0	0,97
Cable 2-3	0,013	0,248	-0,013	-0,248	0,1	0,1	99,0	99,0	0,05
Cable 3-4	0,679	0,660	-0,678	-0,660	1,1	0,8	99,0	98,8	0,14
Cable 3-17	0,010	0,006	-0,010	-0,006	0,0	0,0	99,0	99,0	0,00
Cable 4-5	0,154	0,175	-0,154	-0,175	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 4-18	-0,066	0,156	0,066	-0,156	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 4-25	0,442	0,238	-0,442	-0,237	0,1	0,1	98,8	98,8	0,02
Cable 5-6	0,154	0,175	-0,154	-0,175	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 6-7	-0,034	0,058	0,034	-0,058	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 6-33	0,144	0,089	-0,144	-0,089	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 7-8	-0,034	0,058	0,034	-0,058	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 8-9	-0,050	0,048	0,050	-0,048	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 8-53	0,015	0,009	-0,015	-0,009	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 9-10	-0,072	0,043	0,072	-0,043	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 9-57	0,005	0,001	-0,005	-0,001	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 10-11	0,075	0,038	-0,075	-0,038	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 10-61	0,010	0,002	-0,010	-0,002	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 11-12	0,068	0,037	-0,068	-0,037	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 11-64	0,007	0,001	-0,007	-0,001	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 12-13	0,027	0,013	-0,027	-0,013	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 12-67	0,016	0,010	-0,016	-0,010	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 13-14	0,021	0,010	-0,021	-0,010	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 13-70	0,006	0,004	-0,006	-0,004	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 14-15	0,018	0,008	-0,018	-0,008	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 14-72	0,003	0,002	-0,003	-0,002	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 15-16	0,007	0,004	-0,007	-0,004	0,0	0,0	98,8	98,7	0,01
Cable 18-19	-0,066	0,156	0,066	-0,156	0,1	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 19-20	0,065	0,040	-0,065	-0,040	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 19-45	0,099	0,061	-0,098	-0,061	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 20-21	0,050	0,031	-0,050	-0,031	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 20-52	0,015	0,009	-0,015	-0,009	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 21-22	0,030	0,018	-0,030	-0,018	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 21-55	0,020	0,012	-0,020	-0,012	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 22-23	0,026	0,016	-0,026	-0,016	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01

Cable 22-59	0,004	0,003	-0,004	-0,003	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 23-24	0,003	0,002	-0,003	-0,002	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 23-63	0,014	0,009	-0,014	-0,009	0,0	0,0	98,8	98,8	0,03
Cable 25-26	0,182	0,076	-0,182	-0,076	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 25-32	0,004	0,003	-0,004	-0,003	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 26-27	0,158	0,061	-0,158	-0,061	0,0	0,0	98,8	98,8	0,03
Cable 27-28	0,055	0,011	-0,055	-0,011	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 27-49	0,041	0,026	-0,041	-0,026	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 28-29	0,023	0,006	-0,023	-0,006	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 29-30	0,011	0,003	-0,011	-0,003	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 29-60	0,012	0,003	-0,012	-0,003	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 30-31	0,011	0,003	-0,011	-0,003	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable33-34	0,136	0,085	-0,136	-0,085	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 33-48	0,007	0,005	-0,007	-0,005	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 34-35	0,136	0,085	-0,136	-0,085	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 35-36	0,085	0,053	-0,085	-0,053	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable35-58	0,012	0,008	-0,012	-0,008	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 36-37	0,073	0,046	-0,073	-0,046	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 36-62	0,012	0,008	-0,012	-0,008	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 37-38	0,070	0,043	-0,070	-0,043	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 37-65	0,003	0,002	-0,003	-0,002	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 38-39	0,067	0,041	-0,067	-0,041	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 38-66	0,004	0,002	-0,004	-0,002	0,0	0,0	98,8	98,8	0,00
Cable 39-40	0,040	0,025	-0,040	-0,025	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 39-71	0,013	0,008	-0,013	-0,008	0,0	0,0	98,8	98,7	0,02
Cable 40-41	0,015	0,009	-0,015	-0,009	0,0	0,0	98,8	98,7	0,01
Cable 40-73	0,014	0,009	-0,014	-0,009	0,0	0,0	98,8	98,7	0,01
Cable 41-42	0,015	0,009	-0,015	-0,009	0,0	0,0	98,7	98,7	0,01
Cable 42-43	0,010	0,006	-0,010	-0,006	0,0	0,0	98,7	98,7	0,02
Cable 43-44	0,003	0,002	-0,003	-0,002	0,0	0,0	98,7	98,7	0,00
Cable 45-46	0,085	0,053	-0,085	-0,053	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 45-51	0,014	0,008	-0,014	-0,008	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 46-47	0,020	0,012	-0,020	-0,012	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 46-54	0,065	0,040	-0,065	-0,040	0,0	0,0	98,8	98,8	0,03
Cable 49-50	0,017	0,011	-0,017	-0,011	0,0	0,0	98,8	98,8	0,01
Cable 49-56	0,017	0,010	-0,017	-0,010	0,0	0,0	98,8	98,8	0,02
Cable 67-68	0,007	0,004	-0,007	-0,004	0,0	0,0	98,8	98,7	0,05
Cable 68-69	0,007	0,004	-0,007	-0,004	0,0	0,0	98,7	98,7	0,04
					3,2	3,7			



## BIODATA PENULIS



Velix Setiawan Sirait dilahirkan di kota Pematangsiantar, 31 Oktober 1994. Penulis sedang menempuh pendidikan tinggi bidang studi teknik sistem tenaga di Departemen Teknik Elektro kampus perjuangan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui surel *velix.sirait@gmail.com*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*